



Rami Kokko

TEKONURMIMATON KERÄYS- JA PURKULAITE

TEKONURMIMATON RULLAUS- JA PURKULAITE

Rami Kokko
Opinnäytetyö
Kevät 2013
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka, koneautomaatio

Tekijä: Rami Kokko
Opinnäytetyön nimi: Tekonurmimaton rullaus- ja purkulaite
Työn ohjaaja: Jari Viitala
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2013
Sivumäärä: 95 + 3 liitettä

Tässä opinnäytetyössä suunniteltiin tuotteistettava tekonurmimaton rullaus- ja purkulaite Suomen markkinoille. Työ tehtiin AABA Kotikentät Oy -yritykselle, joka toimii Euroopan laajuisesti urheilu- ja tekonurmikenttäalalla. Laitteesta tuli saada toiminnalta sellainen, että sen ajon aikaiseen käyttöön tarvitaan vain yksi operaattori. Laitteen toiminnan suunnittelun pohjana käytettiin Vaasan kuntayhtymän vastaavanlaista laitetta.

Laitteen toiminnan suunnittelu aloitettiin perusrakenteen selvityksellä. Perusrakenteen valinnassa valittiin, rullataanko mattorulla maata vasten vai ilmassa. Perusrakenteen päätös tehtiin vertailemalla vaihtoehtoja laitteen toimivuuden ja vaatimusten täytön perusteella. Perusrakenteen päätöksen jälkeen laitteen toiminta jaettiin osatoimintoihin. Osatoimintoihin mietittiin osaratkaisuja, joilla toiminta saadaan toteutettua. Ratkaisuvaihtoehdot listattiin taulukkoon, josta tehtiin valinta morfologisen taulukkoanalyysin avulla. Ratkaisuvaihtoehdoista valittiin kolme kokonaisratkaisuvaihtoehtoa, joissa käytettiin erilaisia osaratkaisuja. Valituista kolmesta kokonaisratkaisuvaihtoehdosta valittiin paras arvostelemalla ratkaisuvaihtoehtoja vaatimuksien täytön suhteen.

Laitteen runko optimoitiin painon, jouston ja valmistettavuuden suhteen vertailemalla kolmea eri rakennevaihtoehtoa. Rakennevaihtoehdoille esivalittiin lujuusteknisten laskusääntöjen mukaan elementit ja kokonaisrakenne tarkastettiin Catia-ohjelman lujuusteknisellä analyysillä. Laitteelle valittiin tarvittavat toimilaitteet ja kone-elimet. Toimilaitteiden ja kone-elimien kiinnitys osille tehtiin lujuustekniset analyysit Catia-ohjelmalla. Suunnitellusta tekonurmimaton rullaus- ja purkulaitteesta tehtiin rakenne malli Catia-ohjelmalla.

Opinnäytetyön tulokseksi saatiin annetut vaatimukset täyttävä tekonurmimaton rullaus- ja purkulaite. Laitteesta tehtiin osa- ja kokoonpanopiirustukset valmistusta varten. Opinnäytetyössä päästiin tavoitteisiin, mutta laitteen jatkosta päättää tilaaja.

Asiasanat: tekonurmimatto, morfologinen taulukkoanalyysi, laitesuunnittelu

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
SISÄLLYS	4
1 JOHDANTO	6
2 SUUNNITTELUN LÄHTÖKOHDAT	7
3 LAITTEEN SUUNNITTELU	12
3.1 Jäsennys	12
3.2 Osatoimintojen yhdistäminen	19
3.3 Hyötyarvoanalyysi	22
3.4 Rungon konstruktio	25
3.4.1 Rakenne a	30
3.4.2 Rakenne b	44
3.4.3 Rakenne c	56
4 TOIMILAITTEIDEN VALINTA	60
4.1 Toimilaitteiden kiinnityksien suunnittelu	60
4.1.1 Pyörien ripustus	60
4.1.2 Mattorullan sisäputken kannatinlaakerien tuentalevy	63
4.1.3 Mattorullan sisäputken voimansiirron ja moottorin kiinnitys	64
4.1.4 Mattorullan pyöriksen voimansiirto	65
4.2 Liitokset	68
4.3 Rullan pyöritys	68
4.3.1 Tehonsiirto	73
4.3.2 Moottorin valinta	74
4.3.3 Taajuusmuuttajan valinta	77
4.4 Laitteen ajomoottori	78
4.4.1 Tehonsiirto	79
4.4.2 Moottorin valinta	80
4.5 Jarrujen valinta	81
4.5.1 Mattorullan jarrut	81
4.5.2 Rungon jarrut	81
4.6 Renkaiden valinta	82
4.7 Laakereiden valinta	82

5 VAIHTOEHTOISET TOTEUTUSTAVAT	85
5.1 Vaihtoehtoiset osatoiminto valinnat	85
5.2 Vaihtoehtoiset toteutustavat virheellisen toiminnan tilanteissa	85
6 TULOKSET	87
7 YHTEENVETO	89
LÄHTEET	93
LIITTEET	
Liite 1 Lähtötietomuistio	
Liite 2 Osalista	
Liite 3 Kokoonpanopiirustukset	

1 JOHDANTO

Työssä suunnitellaan tuotteistettava tekonurmimaton rullaus- ja purkulaite. Laite suunnitellaan, koska kyseisen kaltaista laitetta tai tuotetta ei ole Suomen markkinoilla. Lähtötilanteessa vertailutuotteena on käytetty Vaasan kuntayhtymän valmistuttamaa samankaltaista laitetta. (Liite 1.)

Työn tilaaja on Aaba Kotikentät Oy. Aaba Kotikentät Oy toimittaa jalkapallokenttiä, halleja sekä lähiliikuntapaikkoja. Yritys on toimittanut yli 200 jalkapallokenttää ja lähiliikuntapaikkaa. Aaba Kotikentät Oy tekee yhteistyötä mm. HJK:n kanssa sekä on esimerkiksi toimittanut Helsingin Laajasuon liikuntapuistoon pohjarakenteet, jalkapallokentän, monitoimikentän, juoksuradan, kuntoiluvälineitä, urheiluvalaistuksen sekä aidat. (1.)

2 SUUNNITTELUN LÄHTÖKOHDAT

AABA Kotikentät Oy tilasi suunnittelutyön tekonurmimaton rullaus- ja purkulaitteen suunnitteluun. Laite tulisi tilauksesta myytäväksi tuotteeksi. Vaatimuksina on tehdä laitteesta työpiirustukset ja mitoittaa tarvittavat toimilaitteet.

Vertailulaitteena toimii Vaasan kuntayhtymälle valmistettu tekonurmimaton keräyslaite. Vaasan kuntayhtymän rullaus- ja purkulaite on ollut käytössä neljä vuotta, ja se on vaikeakäyttöinen.

Vaasan kuntayhtymän laitteen konstruktiona on nelipyöräinen runko, jossa matto rullataan. Laitteessa ei ole moottoria, vaan mattorullaa on pyöritettävä käsivoimin mattoa kerätessä. Vertailulaitteella mattorullat puretaan vetämällä runkoa sähköauton perässä, jolloin maton auki pyörimistä on rajoitettava jarruttamalla sitä käsivoimin. Ohjaus on toteutettu etummaisilla renkailla siten, että ne ovat lukittavissa pulteilla paikalleen, jonka vuoksi muutosten tekeminen kään-
tymiskulmaan kestää kauan. Mattorullan keräys on aloitettava rullaamalla mattoa sisäputken ympärille muutamia kierroksia ja sen jälkeen käsin nostettava noin 1,2 m korkeuteen rungon päälle. Mattoa nostettaessa on sen auki purkautuminen estettävä. Mattorullan sisäputki pyörii laakereiden päällä väljässä pedissä, jonka seurauksena sisäputki pääsee tekemään sivuttais- ja pitkäisliikettä. Lisäksi sisäputken ylöspäin liikkumista ei ole estetty. Pääongelmat Vaasan kuntayhtymän tekonurmimaton keräyslaitteessa on konstruktion ohjattavuuden heikkous. Se myös vaatii liikaa työvoimaa ja työ kestää liian kauan.

Opinnäytetyön tuloksena tulisi olla tuotteistettava tekonurmimaton rullaus- ja purkulaite. Laitteeseen suunnitellaan rakenne ja mitoitetaan tarvittavat toimilaitteet. Laitteen vaatimuksia kirjattiin yhteistyössä työn tilaajan kanssa ja ne on esitetty taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Tekonurmimaton rullauslaitteen vaatimuslista

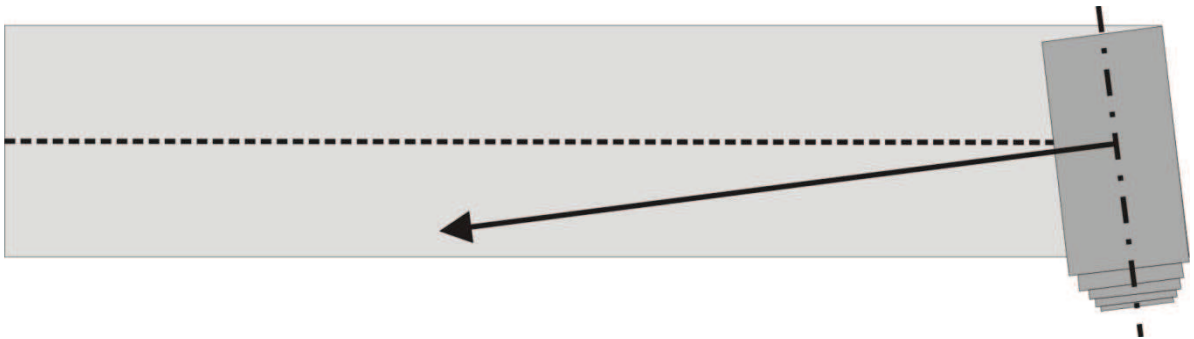
<p style="text-align: center;">Vaatimuslista Tekonurmimaton rullaus- ja purkulaite 2013. Aaba kotikentät Oy</p>	
<p>Tukeva runko</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mattorullan tukien jousto max. 10 mm - Kestettävä vaurioitta maton käyttöajan <p>Ohjattavuus</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rakenteen oltava ohjattava - Rakenteen oltava itsestään ohjautuva <p>Automaattisuus</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mattorullan pyörimisnopeus määräytyy autom. - Mattorulla ohjautuu automaattisesti <p>Rakenteen keveys</p> <ul style="list-style-type: none"> - Valmista rakennette on pystyttävä siirtämään yhden henkilön voimin <p>Purettavuus</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rakenteen on oltava purettavissa siten että se saadaan peräkärryyn <p>Nopeuden säätö</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ohjaajan on voitava säätää nopeus itselleen sopivaksi <p>Jarrutus</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mattorullaa purkaessa on pystyttävä jarruttamaan maton auki rullautumista - Rungon liikettä on pystyttävä jarruttamaan <p>Halpa hinta</p> <ul style="list-style-type: none"> - Laite on suunniteltava mahdollisimman edulliseksi 	<p>Vä</p> <p>Ki</p> <p>Ki</p> <p>To</p> <p>Vä</p> <p>To</p> <p>Ki</p> <p>Ki</p> <p>Ki</p> <p>To</p> <p>Ki</p> <p>To</p> <p>Ki</p> <p>To</p>

Vaatimukset ovat esitetty seuraavassa.

- **Ki:** Vaatimuksia, jotka täytyy täyttää kaikissa tilanteissa. Niitä ovat esimerkiksi suoritusarvot ja laatuvaatimukset (2).
- **Vä:** Vaatimuksia, joiden vähimmäisarvot ovat saavutettavissa, mutta arvojen ylittäminen on toivottavaa tai ei ainakaan haitallista (2).
- **To:** Toivomuksia, joita otetaan huomioon mahdollisuuksien mukaan ja joiden toteutumisesta saa aiheutua vain pieni lisäkustannus (2).

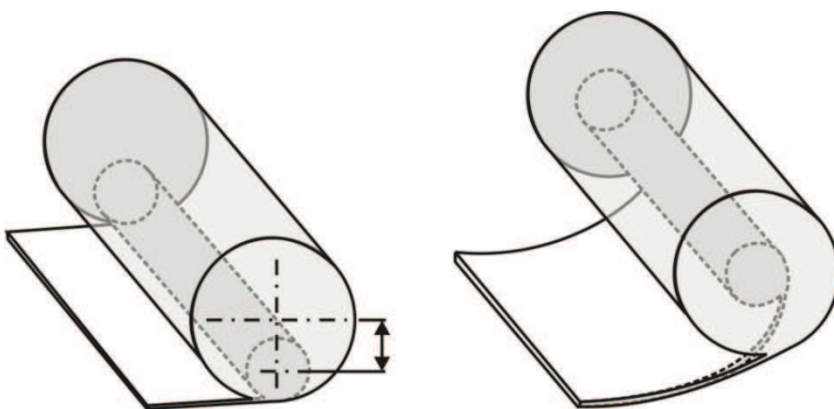
Laitteen toiminnan perusta

Merkittävin ongelma mattorullan purussa on maton rullautuminen kartioksi. Matto rullautuu kartioksi kuvan 1 mukaisella tavalla, kun akseli, johon matto rullautuu, ei ole kohtisuorassa maton kanssa. Ohjausta mattorullan keräys- ja purkulaitteeseen tarvitaan juuri tämän ongelman välttämiseksi. Ohjaus on käytännössä toteutettava kääntämällä rullatun maton linja kohtisuoraan maton linjan kanssa. Tämä voidaan toteuttaa kääntämällä runkoa tai mattorullan sisäputkea, johon se rullataan. Kriittisin vaihe mattorullan rullaamisessa on sen aloitus. Tekonurmimatot ovat yleensä noin 50 metriä pitkiä, joten pieni virhe maton asemassa moninkertaistuu mattoa rullatessa.



KUVA 1. Mattorullan kartioistumisen syy

Tekonurmimattorullan rullaus voidaan suorittaa suoraan maassa tai siten, että rulla on irti maasta. Periaatekuva rullaustavoista on esitetty kuvassa 2.



KUVA 2. Tekonurmimattorullan rullaus maassa ja irti maasta

Sekä maton rullauksella suoraan maantasossa että nostamalla se ilmaan on hyvät ja huonot puolet. Taulukossa 2 on vertailtu toteutustapoja.

TAULUKKO 2. Tekonurmimaton maassa tai irti maasta tapahtuvan rullauksen vertailutaulukko

Tekonurmimattorullan rullaus	
A: irti maasta:	B: maassa:
<ul style="list-style-type: none"> + Kevyempi pyörittää + kevyempi ohjata + Muuttumaton rakenne + Helpompi irrottaa valmiit rullat 	<ul style="list-style-type: none"> + Kevyempi runko + Rullaus helpompi aloittaa + Rullautumista helpompi seurata + Ei ilmassa olevaa mattoa
<ul style="list-style-type: none"> - Runko rakenne raskaampi - Vaikeampi aloittaa - Ilmassa olevaa mattoa - Etäisyys maassa olevan maton ja rullan välillä suuri → ohjaus jää jälkeen 	<ul style="list-style-type: none"> - Raskaampi ohjaus - Raskaampi pyörittää - Vaikeampi irrottaa valmis - Maton kannatuksen korkeuden muututtava - Ylimääräisiä esineitä voi jäädä mattorullan sisälle

Päätös valitusta vaihtoehdosta tehtiin vaatimuslistan perusteella. Vaihtoehtoja vertailtiin vaatimuksiin ja valittiin se vaihtoehto, joka täyttää parhaiten vaatimukset. Päätös valitusta vaihtoehdosta tehtiin vaihtoehdon esiintymiskertojen mukaan. Valinnan päätös on esitetty taulukossa 3.

TAULUKKO 3. Rakenteen valintataulukko

Vaatus:	Rakenteita vertailtaessa parempi vaihtoehto:
Tukeva runko	A
Ohjattavuus	A
Automaattisuus	A
Rakenteen keveys	B
Purettavuus	AB
Nopeuden säätö	AB
Jarrutus	B
Halpa hinta	A
Valinta:	A

Tukeva runko: Rakennevaihtoehdolla saadaan tukevampi runko, sillä se ei vaadi liikkuvia osia. Vaihtoehdossa B tekonurmimaton sisäputken kiinnityksen on muututtava maton mattorullan halkaisijan kasvaessa.

Ohjattavuus: Rakennevaihtoehdolle A saadaan parempi ohjattavuus, sillä maasta irti oleva maton osuus sallii mattorullan kääntymisen. Vaihtoehdossa B mattorullan ohjaus vaatii suurempia voimia, koska matto rullautuu suoraan maasta rullaan, joka ei salli joustamista liitoskohdassa. Vaihtoehdossa B kitka vaikeuttaa maton ohjattavuutta, sillä rullaa kääntäessä sitä on laahattava maata pitkin.

Automaattisuus: Rakennevaihtoehdolle A saadaan helpommin toteutettua automaattisuus, koska vaihtoehdon ohjattavuus on parempi. A-vaihtoehtoon saadaan tukevampi runko, sillä siinä on vähemmän liikkuvia osia, jotka tarvitsisivat ohjausta.

Keveys: Rakennevaihtoehdolla B saataisiin kevyempi runkorakenne, sillä siinä ei tarvitsisi kannatella täyden rullan massaa.

Purettavuus: Molemmat vaihtoehdot voidaan suunnitella ja rakentaa purettaviksi.

Nopeuden säätö: Nopeuden säätö voidaan toteuttaa yhtä hyvin molemmissa vaihtoehdoissa.

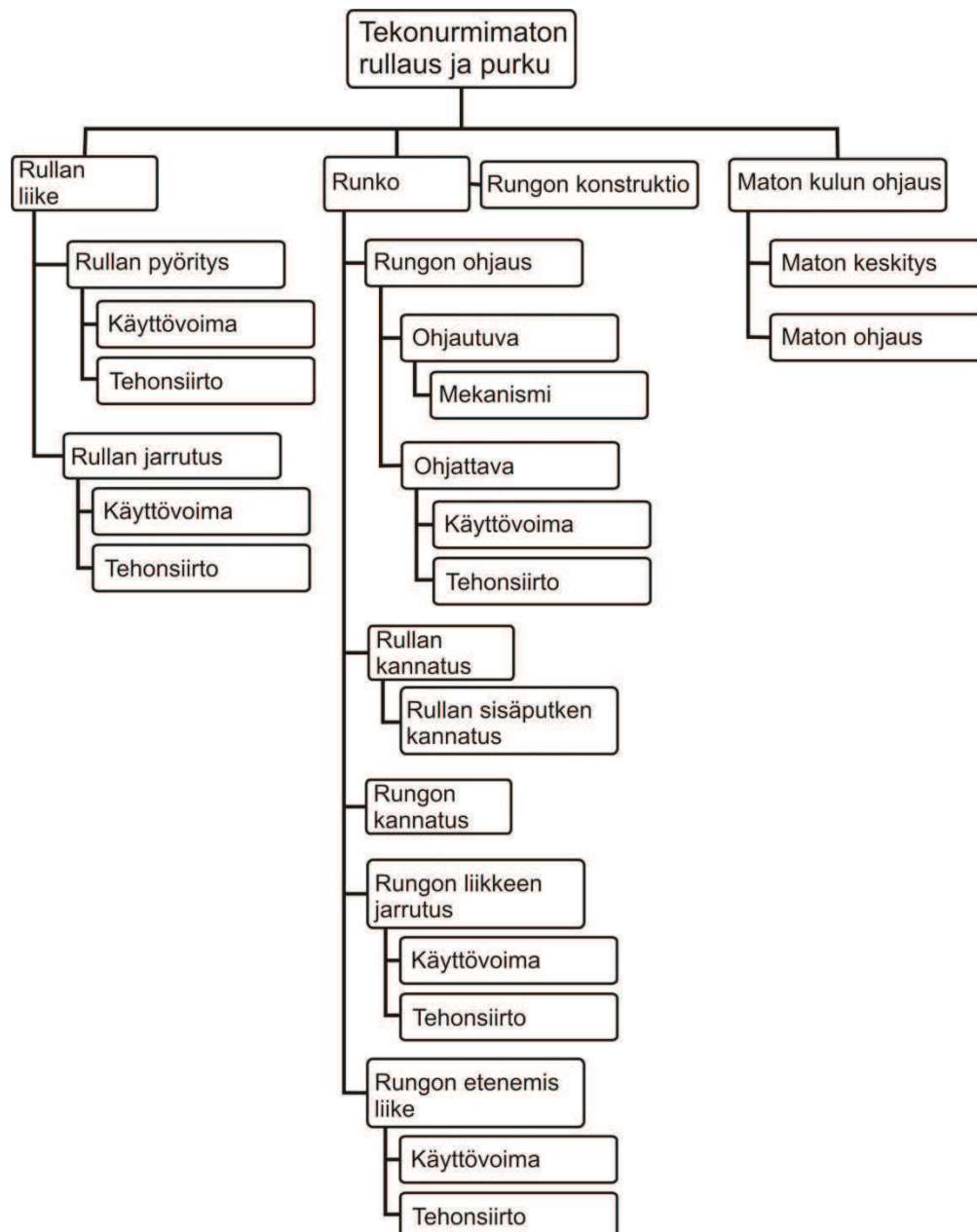
Jarrutus: Jarrutus voidaan toteuttaa paremmin vaihtoehdossa B, sillä maton rullaus maassa jarruttaa sitä tarvittavan määrän.

Halpa hinta: Vaihtoehto A saadaan toteutettua pienemmin kustannuksin, sillä sen toimiva toteutus vaatii vähemmän liikkuvia osia ja mekaniikkaa.

3 LAITTEEN SUUNNITTELU

3.1 Jäsennys

Osavaatimusten perusteella rakenteesta tehtiin toimintopuu (kuva 3). Toimintopuussa päätoiminnot on jaettu osatoimintoihin. Päätoiminto on tekonurmimaton rullaus ja purku, joka saadaan koostuu osatoiminnoista.



KUVA 3. Osatoimintoihin jakaminen

Tekonurmimaton rullaus ja purku jaettiin kahteentoista osatoimintoon, jotka yhdessä mahdollistavat tekonurmimaton rullauksen ja purkamisen. Osatoiminnoille on useita erilaisia ratkaisuvaihtoehtoja, ja niitä ideoitiin tähän opinnäytetyön monia. Suuri osa karsittiin pois niiden toteutuksen ja toiminnan haasteellisuuden vuoksi. Lopullinen konstruktio koostuu osaratkaisuisista. Osatoiminnoille annettiin erilaiset ratkaisuvaihtoehdot ja ne listattiin taulukkoon 4.

TAULUKKO 4. Morfologinen analyysitaulukko

	Osatoiminto	Ratkaisu				
1	Ohjautuvan rungon mekanismi	Vapaasti pyörivä rengas	Maton reunan mukaan ohjautuva			
2	Rungon ohjauksen mekanismi	Kääntyvät etupyörät (4-rengasta)	Kääntyvät takapyörät (4-rengasta)	Kääntyvä takapyörä (3-rengasta)	Kääntyvät etupyörät (3-rengasta)	Ei erillistä ohjausta
3	Ohjauksen käyttövoima	Käsivoima	Sähkö	Hydrauliikka	Polttomoottori	
4	Maton ohjaus	Sivulevy ja ohjuri	Pyörivä levy	Sivurullat ja päällekkäiset levyt	Ohjuri	Ohjuri sivurullilla
5	Rullan sisäputken kannatus	Laakeripeti				
6	Rungon kannatus	Renkaat	Kiskot			
7	Rungon etenemisliikkeen käyttövoima	Sähkö	Polttomoottori			
8	Rungon etenemisliikkeen mekanismi	Rullaketju-ketjupyörä	Hihna	Hydrauliikka	Hammaspyörät	Pneumatiikka
9	Rungon liikkeen jarrutuksen käyttövoima	Käsivoima	Sähkö	Polttomoottori		
10	Rungon liikkeen jarrutuksen tehonsiirto	Vaijeri	Hydrauliikka	Pneumatiikka	Hammaspyörät	
11	Rungon liikkeen jarrutuksen mekanismi	Levyjarru	Rumpujarru	Laahain		
12	Rullan pyörytyksen käyttövoima	Sähkö	Polttomoottori			

(jatkuu)

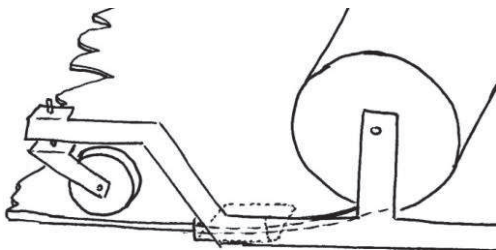
TAULUKKO 4. (jatkuu)

13	Rullan pyörityksen tehonsiirto	Rullaketju-ketjupyörä	Hihna	Hydrauliikka	Hammas-pyörät	Pneumatiikka
14	Rullan jarrutuksen käyttövoima	Käsivoima	Sähkö	Polttomoottori		
15	Rullan jarrutuksen tehonsiirto	Rullaketju-ketjupyörä	Hihna	Hydrauliikka	Pneumatiikka	Vaijeri
16	Rullan jarrutuksen mekanismi	Levyjarru	Rumpujarru	Laahain		
17	Maton keskityksen säätö	Vipuvarsi mekanismi	Luisti-ohjuri mekanismi			
18	Rungon konstruktio	Optimoidaan painon ja jäykkyyden suhteen				

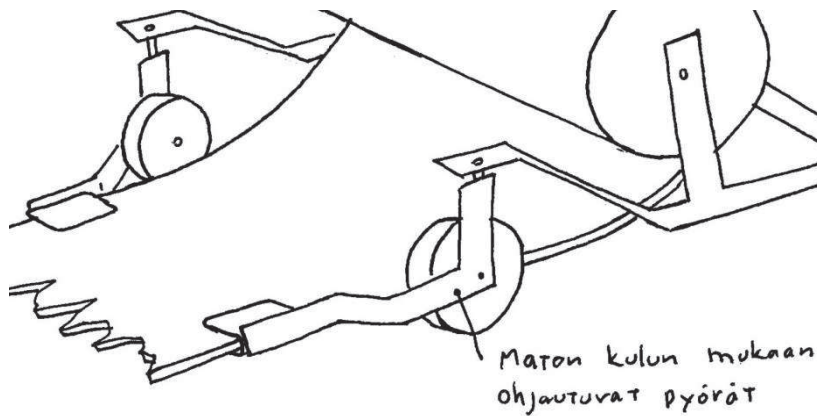
Taulukon sisältö on esitelty seuraavaksi.

1 Ohjattavan rungon mekanismi

Laitteen tulee pystyä ohjautumaan maton kulun mukaan. Rungon ohjautuminen maton mukaan voidaan toteuttaa erilaisilla maton kulun mukaan ohjautuvilla mekanismeilla. Taulukon *vapaasti pyörivä rengas* -rakenne on esitelty kuvassa 4. Rakenteessa ohjainlevy maton reunassa keskittää rungon kulkusuunnan maton suunnan kanssa yhdensuuntaiseksi. Kun matto rullataan maton kanssa täysin yhden suuntaisesti, mattorulla ei pääse kartioitumaan. Taulukon *maton reunan mukaan ohjautuva rengas* -rakenteessa maton reuna kääntää suoraan kulkusuunnan määrääviä renkaita. Rakenneperiaate on esitetty kuvassa 5.



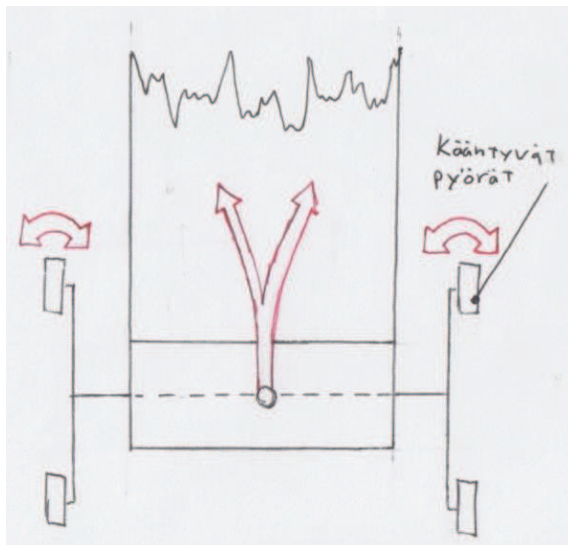
KUVA 4. Vapaasti ohjautuvan renkaan rakenneperiaatekuva



KUVA 5. Maton kulun mukaan ohjautuvan renkaan rakenneperiaatekuva

2 Rungon ohjauksen mekanismi

Laitetta on pystyttävä ohjaamaan. Rungon ohjaus voidaan toteuttaa helposti. Ohjauksen mahdollistaviksi rakenteiksi valittiin neljä erilaista kääntyvin pyörin varustettua rakennetta. Rungon rakenne voidaan toteuttaa kolmella tai useammalla renkaalla. (Kuva 6.)



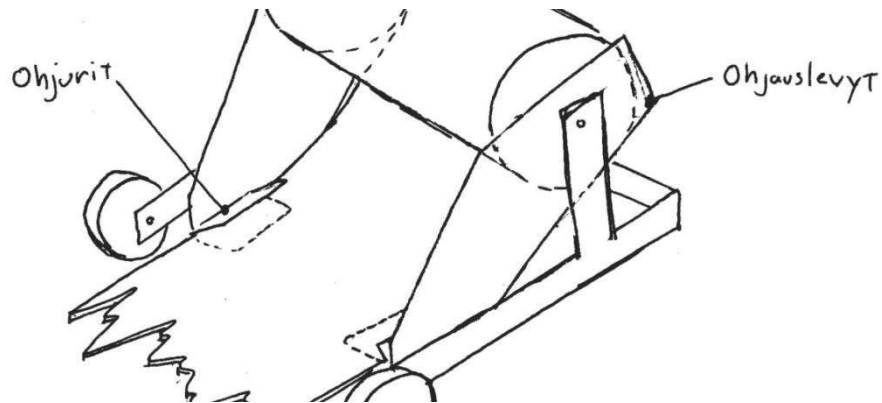
KUVA 6. Nelirenkaisen kääntyvillä etupyörillä varustetun rungon rakenneperiaatekuva

3 Ohjauksen käyttövoima

Rungon ohjaukseen tarvitaan käyttövoimaa. Käyttövoima voidaan toteuttaa sen keveyden vuoksi käsivoimalla. Käyttövoimaksi valittiin käsivoiman lisäksi sähkö- ja polttomoottori.

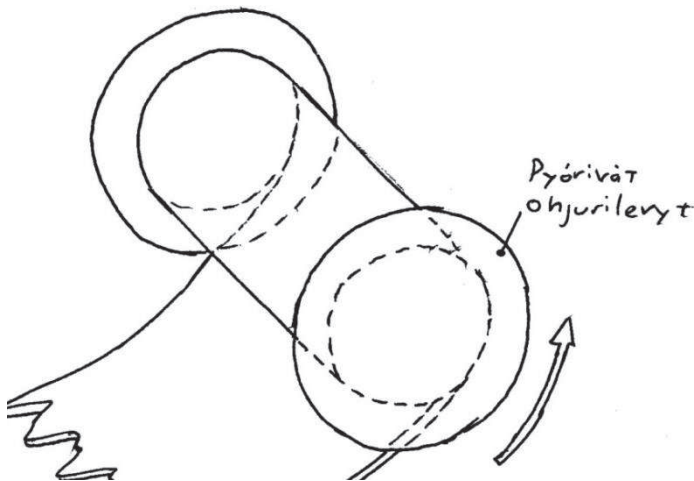
4 Maton ohjaus

Maton ohjauksella estetään kartioitumista. Osaratkaisu *sivulevy ja ohjuri* -rakenteessa maton kulku ohjataan pystysuunnassa ohjurilla ja sivusuunnassa levyillä. Ratkaisun rakenne on esitetty kuvassa 7.



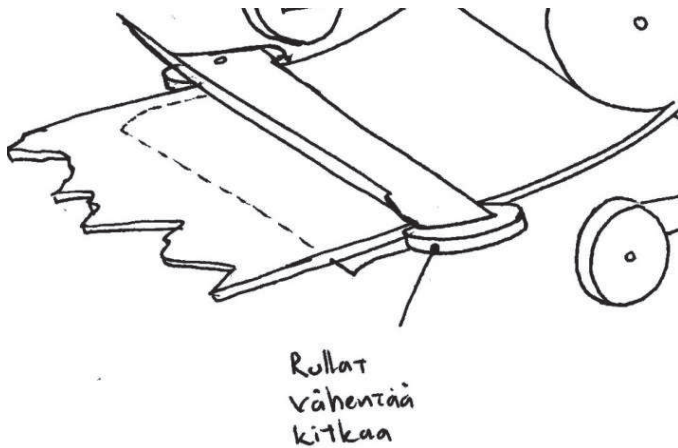
KUVA 7. Sivulevy ja ohjuri –rakenneperiaatekuva

Osaratkaisussa *pyörivät levyt* maton ohjaus rullaan on toteutettu rullan sivussa pyörivillä levyillä. Levyt pyörivät kitkan ja siitä seuraavan kulumisen vähentämiseksi. *Pyörivät levyt* rakenne on esitetty kuvassa 8.



KUVA 8. Pyörivien levyjen rakenneperiaatekuva

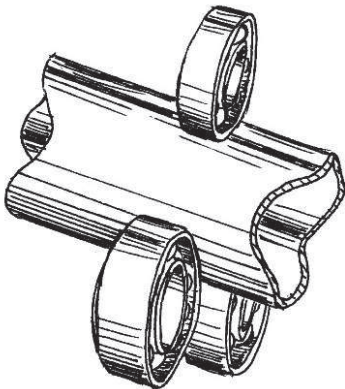
Osaratkaisuiksi on valittu myös *sivurullat ja päällekkäiset ohjauslevyt* -rakenne, jossa rullan sivuttaissiirtyminen on estetty kitkaa vähentävillä rullilla ja pystysuuntainen siirtyminen levyillä. Rakenteen periaate on esitetty kuvassa 9. Maton ohjausvaihtoehdoiksi on valittu pelkkä ohjainlevy sekä ohjainlevy rullilla.



KUVA 9. Sivurullat ja päällekkäiset ohjauslevyt -rakenneperiaatekuva

5 Rullan sisäputken kannatus

Mattorullan sisäputken tulee päästä pyörimään vapaasti paikallaan. Osaratkaisiksi valittiin laakeripeti, joka voidaan toteuttaa erilaisilla tavoilla ja laakerien määrällä. Laakeripeti voidaan toteuttaa esimerkiksi kahdella vierekkäisellä laakerilla, joiden päälle maton sisäputki asetetaan. Kuvassa 10 on esitetty kolmen laakerin ratkaisu, missä sisäputki pyörii kahden laakerin päällä ja yksi estää rullan liikkumisen ylöspäin.



KUVA 10. Kolmella laakerilla toteutettu laakeripeti

6 Rungon kannatus

Rungon pitää pystyä liikkumaan irti maasta. Rungon kannatus voidaan käytännössä toteuttaa renkailla tai kiskoilla.

7 Rungon etenemisliikkeen käyttövoima

Rungon on pystyttävä liikkumaan ilman lihastyövoimaa. Käyttövoimavaihtoehtoisiksi valittiin sähkö ja polttomoottori.

8 Rungon etenemisliikkeen tehonsiirto

Rungon etenemisliikkeen käyttövoima on pystyttävä siirtämään mekaaniseksi työksi ja rungon liikkeeksi. Tehonsiirtovaihtoehdoiksi valittiin rullaketju- ketjupyörä-, hihna-hihnapyörä-, hydraulikka-, hammaspyörä- sekä pneumaattinen välitys.

9 Rungon liikkeen jarrutuksen käyttövoima

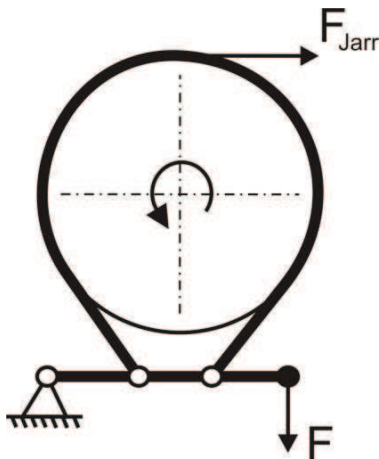
Rungon liikettä on voitava hidastaa maton purkuvaiheessa. Käyttövoimaksi voidaan valita käsivoima, sähkö ja polttomoottori.

10 Rungon liikkeen jarrutuksen tehonsiirto

Rungon jarrutuksen käyttövoima on voitava siirtää jarrutusmekanismiin. Tehonsiirto voidaan toteuttaa mekaanisilla elimillä, hydraulikalla ja pneumatiikalla. Mekaanisiksi tehonsiirtoratkaisuihin valittiin vaijeri ja hammaspyörät.

11 Rungon liikkeen jarrutuksen mekanismi

Rungon liikkeen jarrutuksen käyttövoima on muutettava mekaaniseksi jarrutustyötä tekeväksi työksi. Jarrumekanismeiksi valittiin levy- ja rumpujarru ja laahain. Laahainjarrussa jarrutusvoima toteutetaan sylinteriä laahaavalla nauhallalla. Kuvassa 11 on esitetty laahainvaihtoehdon rakenteen periaate.



KUVA 11. Laahainjarru

12 Rullan pyörityksen käyttövoima

Rullan pyöritykseen tarvitaan käyttövoimaa. Rullan pyörityksen tulee toimia automaattisesti. Käyttövoiman valintaa rajaa lisäksi pyöritettävän kappaleen massa ja koko. Mahdollisiksi käyttövoimiksi valittiin sähkö ja polttomoottori.

13 Rullan pyörityksen tehonsiirto

Rullaa pyöritetään maton rullaamiseksi. Rullan pyöritykseen valittiin erilaisia pyörinnän mahdollistavia tehonsiirtomuotoja. Pyörityksen mahdollistaviksi tehonsiirtomuodoiksi valittiin ketju, hihna, ratas, hydrauliiikka ja pneumatiikka.

14 Rullan jarrutuksen käyttövoima

Rullan jarrutukseen tarvitaan käyttövoimaa. Rullan pyörimistä on pystyttävä jarruttamaan rullaa purkaessa. Rullan jarruttamiseen tarvitaan käyttövoimaa. Käyttövoimiksi valittiin käsivoima, sähkö ja polttomoottori.

15 Rullan jarrutuksen tehonsiirto

Rullan pyörimistä jarrutetaan hidastamalla sen pyörimisnopeutta. Rullan jarrutukseen valittiin erilaisia jarrutuksen mahdollistavia tehonsiirtomuotoja. Jarrutuksen tehonsiirtomuodoiksi valittiin ketju, hihna, ratas, hydrauliiikka ja pneumatiikka.

16 Rullan jarrutuksen mekanismi

Rullan jarrutuksen käyttövoima on voitava muuttaa jarrutustyöksi. Rullan jarrutuksen mekanismi vaihtoehtoiksi valittiin levy- ja rumpujarru ja laahain.

17 Maton keskityksen säätö

Matto keskitetään rullan sylinterimäisyyden varmistamiseksi. Matto keskitetään ohjaamalla se tiettyyn suuntaan. Maton keskitys voidaan toteuttaa eri rakenteilla. Mekanismeiksi on valittu vipuvarsi- ja luisti-ohjurimekanismi.

18 Rungon konstruktio

Rungon konstruktio tarkennetaan myöhemmin tässä työssä.

3.2 Osatoimintojen yhdistäminen

Ennen osatoimintojen yhdistämistä erilaisiksi kokonaisuuksiksi valittiin taulukosta 2 pois toteutumiskelvottomat vaihtoehdot. Toteutumiskelvottomat vaihtoehdot hylättiin seuraavien perusteluiden mukaisesti.

Ohjautuvan rungon osaratkaisista hylättiin maton reunan mukaan ohjautuva rengas. Tekonurmimatot ovat kiinni toisissa matoissa esimerkiksi tarranauhalla, jotta koko tekonurmikenttä olisi yhtenäinen. Maton on irrottava kiinnityksestään

sitä rullatessa, ja rakenteessa, jossa rengas ohjautuu maton reunan mukaan, ohjaus tapahtuu juuri maton irtautumiskohdassa. Tämän vuoksi matto tulisi irrottaa kiinnityksistään ennen laitteen siihen tuloa, sillä muutoin renkaiden ohjaimet saattaisivat takertua mattoon ja sen kiinnityksiin.

Rungon ohjauksen mekanismeista hylättiin kolmirenkaiset vaihtoehdot. Nelirenkaisella rakenteella laite saadaan vakaammaksi ja tukevammaksi. Laitteelle ei välttämättä tarvita ohjausta, jos se toteutetaan ohjautuvalla mekanismilla. Toisaalta kääntyvien etupyörien menetelmä voidaan yhdistää vapaasti pyörivän renkaan menetelmään.

Ohjauksen käyttövoima voidaan toteuttaa sähköllä tai polttomoottorilla, jos siitä tehdään täysin automaattinen. Ohjauksen automaattinen toteutus on kalliimpi ja sitä ei tarvita, jos valittu rakenne on ohjautuva. Koska halpa hinta on kiinteä vaatimus, sähkö ja polttomoottorivaihtoehdot suljetaan pois.

Maton ohjausvaihtoehdoista suljettiin pois *pyörivä levy ja sivurullat ja päällekkäiset levyt*. *Sivurullat* -vaihtoehto jätettiin pois, koska se aiheuttaa mattoa kuluttavaa kitkaa maton siihen laahautuessa. *Sivurullat* ja *päällekkäiset levyt* jätettiin pois rakenteen raskauden vuoksi.

Rungon kannatusrakennevaihtoehdoista hylättiin kiskorakenne. Kiskorakenne vaatisi kiskoja joko kiinteään tai kerta-asennuksen. Lisäksi kiskot vaatisivat rullat runkoon.

Rungon liikkeen jarrutuksen käyttövoimavaihtoehdoista jätettiin pois *sähkö-* ja *polttomoottori*. Vaihtoehdot jätettiin pois niiden toteutuksesta aiheutuvien kustannusten vuoksi.

Rungon liikkeen jarrutuksen voimansiirtotekniikoista hylättiin pneumatiikka. Pneumatiikka tarvitsisi erillisen painesäiliön tai kompuran paineilman määrän takaamiseksi. Lisäksi paineilma on suhteessa pehmeää, joten tarvittaisiin paljon kovempi paine kuin esimerkiksi hydraulikassa.

Rullan pyörimisen ja jarrutuksen tehonsiirtovaihtoehdoista suljettiin pois pneumatiikka. Pneumatiikka hylättiin, koska se tarvitsee erillisen kompressorin voi-

man tuottoon. Lisäksi pneumatiikkajärjestelmällä on verrattain vaikea tuottaa tarvittavaa vääntömomenttia.

Osatoiminnoista koottiin kolme vaihtoehtoista kokonaisuutta. Taulukossa 4 on esitetty, mistä osatoiminnoista ratkaisut koostuivat.

TAULUKKO 5. Jäsentelykaavio

Osatoiminto		Ratkaisu				
1	Ohjautuvan rungon mekanismi	Vapaasti pyörivä rengas	Maton reunan mukaan ohjautuva			
2	Rungon ohjauksen mekanismi	Kääntyvät etupyörät (4-rengasta)	Kääntyvät takapyörät (4-rengasta)	Kääntyvät takapyörä (3-rengasta)	Kääntyvät etupyörät (2-rengasta)	Ei erillistä ohjausta
3	Ohjauksen käyttövoima	Käsivoima	Sähkö	Hydrauliikka	Polttomoottori	
4	Maton ohjaus	Sivulevy ja ohjuri	Pyörivä levy	Sivulevy ja päällekkäiset levyt	Ohjuri	Ohjuri sivurullilla
5	Rullan sisäputken kannatus	Laakerit				
6	Rungon kannatus	Renkaat	Kiskot			
7	Rungon etenemisliikkeen käyttövoima	Sähkö	Polttomoottori			
8	Rungon etenemisliikkeen mekanismi	Rullaketjuketupyörä	Hihna	Hydrauliikka	Hammaspyörät	Pneumatiikka
9	Rungon liikkeen jarrutuksen käyttövoima	Käsivoima	Sähkö	Polttomoottori		
10	Rungon liikkeen jarrutuksen tehonsiirto	Väljeri	Hydrauliikka	Pneumatiikka	Hammaspyörät	
11	Rungon liikkeen jarrutuksen mekanismi	Levyjarru	Rumpujarru	Laahain		
12	Rullan pyörimisen käyttövoima	Sähkö	Polttomoottori			

(jatkuu)

TAULUKKO 5. (jatkuu)

13	Rullan pyörytyksen tehonsiirto	Rullaketju- ketjupyörä	Hihna	Hydrauliikka	Hammas- pyörät	Pneumatiikka
14	Rullan jarrutuksen käyttövoima	Käsivoima	Sähkö	Rektomoottori		
15	Rullan jarrutuksen tehonsiirto	Rullaketju- ketjupyörä	Hihna	Hydrauliikka	Pneumatiikka	Vaijeri
16	Rullan jarrutuksen mekanismi	Levyjarru	Rampujarru	Laahain		
17	Maton keskityksen säätö	Vipuvarsi mekanismi	Luisti-ohjuri mekanismi			
18	Rungon konstruktio	Optimoidaan painon ja jäykkyyden suhteen				

R2 R3 R1

Taulukossa 4 olevat kokonaistoimintoratkaisut ovat seuraavat:

- R1: kokonaisratkaisu 1
- R2: kokonaisratkaisu 2
- R3: kokonaisratkaisu 3.

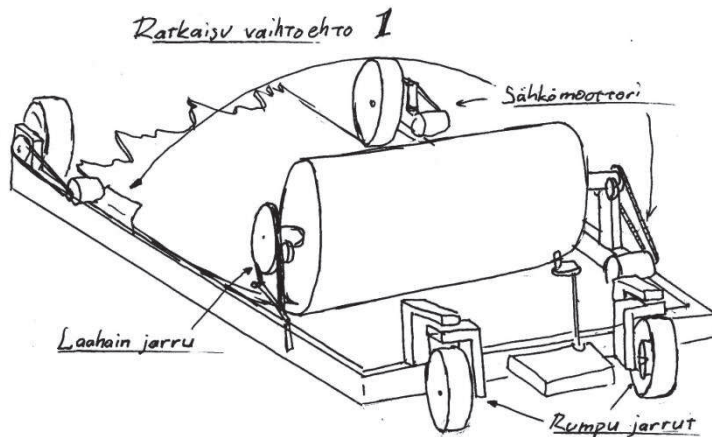
Vaihtoehtoista tehtiin luonnoskuvat, jotta ratkaisuvaihtoehtojen arviointi ja vertailu olisi helpompaa. Ratkaisuvaihtoehtojen luonnoskuvat ovat liitteessä 1.

3.3 Hyötyarvoanalyysi

Kolmelle valitulle rakennevaihtoehdolle tehtiin hyötyarvoanalyysi. Hyötyarvoanalyysissä toteutusvaihtoehtoja verrataan toisiinsa niiden vaatimusten täytön perusteella. Valitut osaratkaisujen kokonaisrakenteet on esitetty seuraaviksi.

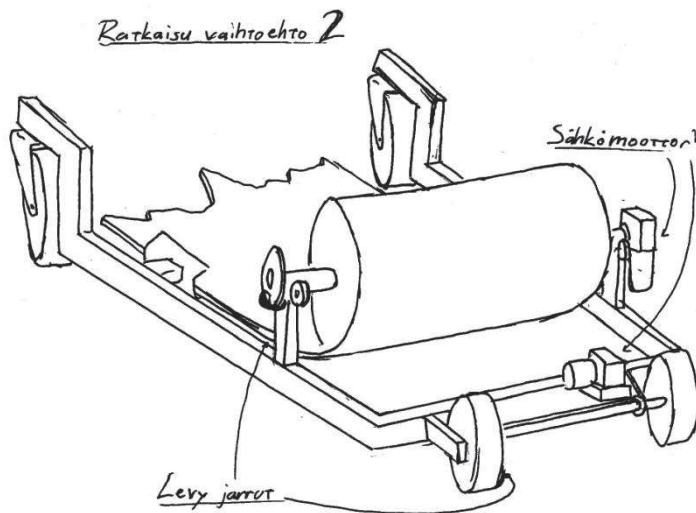
Kuvassa 12 esitetty ratkaisuvaihtoehto on jäsentelykaavion (taulukko 4) R1-kokonaisratkaisun mukainen. Ratkaisuvaihtoehdossa laitteen ohjaus on operaattorin ohjattavana ja rungon sekä maton käyttövoimana sähkömoottorit. Laitteessa maton ohjaus toteutettiin *ohjuri*-rakenteella. Mattorullan pyörimisnopeu-

den jarrutukseen on valittu laahainjarru. Rungon jarrutukseen valittiin rumpujarrut.



KUVA 12. Kokonaisratkaisu 1

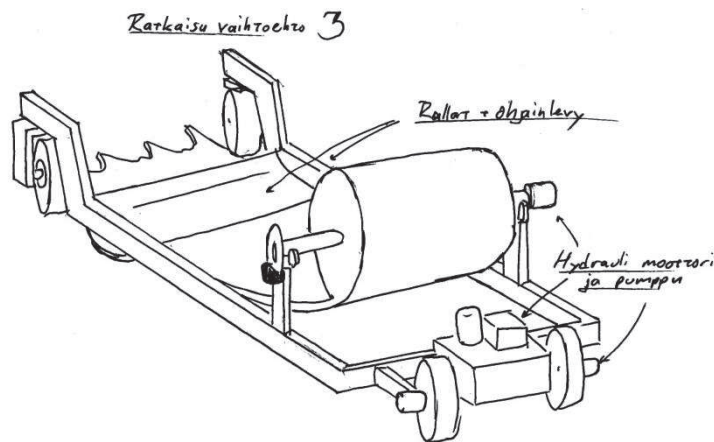
Kuvassa 13 on esitetty kokonaisratkaisuvaihtoehto 2, johon valittiin vapaasti ohjautuvan rungon mekanismi. Mattorullan pyörimykseen ja rungon etenemisliikkeen käyttövoimaksi valittiin sähkömoottorit. Voiman välitykseen valittiin ratasvälitys. Mattorullan pyörimisen - ja rungon jarruttamiseen valittiin levyjarrut.



KUVA 13. Kokonaisratkaisu 2

Kokonaisratkaisuvaihtoehto 3 on esitetty kuvassa 14. Käyttövoimaksi ratkaisuvaihtoehtoon valittiin hydraulikka, millä tuotetaan käyttövoima sekä mattorullan pyörimykseen että rungon liikkeeseen. Rungon liikkeen jarrutukseen valittiin

rumpujarrut ja maton pyörimisen jarruttamiseen valittiin levyjarru. Maton ohjaukseen vaihtoehdossa valittiin *sivurullat ja päällekkäiset ohjauslevyt* -rakenne.



KUVA 14. Kokonaisratkaisu 3

Parivertailutaulukossa (taulukko 6) vertailtiin vaatimuslistan vaatimuksia toisiinsa. Pareja vertailtiin niiden paremmuuden perusteella, esimerkiksi kumpi on tärkeämpi: tukeva runko A vai ohjattavuus B. Laitteen toiminnan kannalta tärkeämmäksi valittiin ohjattavuus. Vertailuista saatiin kunkin vaatimuksen esiintymismäärä, minkä perusteella laskettiin painoarvo kullekin vaatimukselle.

TAULUKKO 6. Parivertailutaulukko

									Esiintymisiä	Painoarvo
Tukeva runko	A	B	C	A	E	F	A	A	3	0,11
Ohjattavuus		B	B	B	B	F	B	B	6	0,21
Automaattisuus			C	C	E	C	C	C	5	0,18
Rakenteen keveys				D	E	D	D	H	2	0,07
Purettavuus					E	E	E	H	5	0,18
Nopeuden säätö						F	F	H	3	0,11
Jarrutus							G	H	0	0,00
Halpa hinta								H	4	0,14
Yhteensä:									28	1

Taulukossa 6 lasketut painoarvot on laskettu kaavalla 1.

$$\text{Painoarvo} = \frac{\text{Esiintymisiä}}{\sum (\text{Esiintymisiä})}$$

KAAVA 1

Kokonaistoiminnon ratkaisutapoja vertaillaan taulukossa 7. Taulukossa 7 on pisteytetty valitut rakennevaihtoehdot sekä laskettu kullekin toteutustavalle yleisarvosana, jossa on otettu huomioon painoarvo.

TAULUKKO 7. Vaihtoehtoisten rakennevaihtoehtojen pisteytys

	Painoarvo:	Kokonaisratkaisu 1	Kokonaisratkaisu 2	Kokonaisratkaisu 3
Tukeva runko	0,11	-	-	-
Ohjattavuus	0,21	9	6	6
Automaattisuus	0,18	5	8	8
Rakenteen keveys	0,07	8	8	6
Purettavuus	0,18	7	8	6
Nopeuden säätö	0,11	9	9	7
Jarrutus	0	9	8	8
Halpa hinta	0,14	7	8	6
Yleisarvosana:		6,58	6,81	5,81

Taulukossa 7 esitetyt yleisarvosanat on laskettu kaavalla 2.

$$Yleisarvosana = \sum (Painoarvo * rakenne) \quad KAAVA 2$$

Pisteytys on toteutettu kouluarvosanoin siten, että 10 vastaa täydellistä ratkaisua ja 4 toteuttamiskelvotonta ratkaisua. Kunkin rakenteen arvosanat kullekin vaatimukselle perustuvat arvioihin osaratkaisujen kokonaistoiminnasta. Rungon tukevuus ei ole riippuvainen valitusta ratkaisuvaihtoehdosta. Kokonaisratkaisu 2 arvosteltiin parhaaksi osaratkaisujen yhdistelmävaihtoehdoksi.

Kehitettäväksi rakenteeksi valittiin rakenne 2, koska se sai korkeimman yleisarvosanan. Vaihtoehdolla saadaan kompromissit huomioon ottaen vertailluista rakenteista toimivin vaihtoehto.

3.4 Rungon konstruktio

Opinnäytetyön tekonurmimaton rullaus- ja purkulaite suunnitellaan FIFA:n vaatimukset täyttävän purettavan tekonurmimaton rullaukseen ja purkuun. AABA Kotikentät Oy:n myymä CCgrass football turf VV täyttää nämä vaatimukset. Mattoelementit ovat noin neljä metriä leveitä ja 50 metriä pitkiä. Yhden mattoelementin paino on rouheen kanssa noin 1 600 kg.

Laitteen rungon rakenteeksi mietittiin erilaisia ratkaisuja. Rungon tulisi olla kevyt, jäykkä ja verrattain helppo rakentaa. Rakenteeseen saadaan jäykkyyttä lisäämällä siihen ainetta, mutta tämä tekee rakenteesta raskaamman. Jäykkyyttä voidaan lisätä myös kolmioelementtirakenteella. Kolmioelementtirakenteessa on paljon elementtejä ja se vaatii paljon hitsausliitoksia, joten se on vaikeampi rakentaa.

Runkorakenteita päätettiin vertailla niiden painon, suurimman siirtymän ja hitsiliitosten määrän perusteella. Edellä mainitut muuttujat valittiin, koska niihin on helppo vaikuttaa. Muuttujille valittiin painokertoimet taulukon 8 mukaisesti.

TAULUKKO 8. Rungon muuttujien parivertailutaulukko

				Esiintymisiä	Painoarvo
Keveys	A	B	C	1	2
Jäykkyys		B	B	2	3
Hitsiliitosten määrä			C	1	2

Taulukossa 8 esitetyt painoarvot on laskettu kaavalla 3.

$$Painoarvo = 1 + \sum Esiintymä \quad KAAVA 3$$

Vertailu on tehty kuten luvun 2.3 Taulukossa 6. Runkorakenteen kaikki muuttujat paranevat niiden pienentyessä. Koska tavoitteena on saada mahdollisimman hyvä runko kaikkien näiden ominaisuuksien osalta, on rungon muuttujien oltava mahdollisimman pieniä. Vertailuun kehitettiin kaava, missä huomioidaan rungon muuttujat kertoimineen. Runko tyyppin valinta tehdään kaavalla 4.

$$2Paino \cdot 3Siirtymä \cdot 2Hitsiliitosten\ määrä \\ = Rakenteen\ vertailu\ arvo \quad KAAVA 4$$

Vertailtaviksi runkorakenteiksi valittiin seuraavat kolme vaihtoehtoista rakennetta. Lujuustekniset mitoitukset tehdään jouston ja sallittujen jännitysten perusteella. Rakenteen tulee olla jäykkä ja vaatimuslistan mukaisesti suurimmat siirtymät rakenteissa saavat olla 15 mm. Rakenteet oletetaan valmistettavaksi S235-rakenneteräksestä.

Laitteen perusmitat on esitetty kuvassa 15 (s. 29). Laitteen leveydeksi valittiin 4,5 metriä, jotta matolla olisi tilaa ohjautua. Mattojen leikkausleveydet saattavat myös vaihdella, minkä vuoksi rakenteen tulee olla oletettua mattorullan leveyttä leveämpi. Renkaiden tulee pysyä mattorullan sivujen sisäpuolella. Rakenteen pituuden tulisi pysyä mahdollisimman lyhyenä, kuitenkin siten, että maton ohjuksille on tilaa pituudessa. Pituudeksi esivalittiin 2 m.

Rakenteeseen kohdistuvan voiman määrittelyssä oletetaan runko jouseksi, johon massa lasketaan. Lujuustarkastelut tehdään oletetussa tilanteessa, missä kannatettava massa liikkuu kannattimien päällä. Oletetaan rungon käyttäytyvän kuin jousi, joka ottaa vastaan siihen kohdistetun liike-energian. Mattorullan tapauksessa maton potentiaalienergia muuttuu rungon kimmo-energiaksi.

Äkillisen kuorman rasitukset ovat suuremmat kuin lepäävän. Laskennalliseksi maksimikuormitukseksi oletettiin tilanne, jossa täysi mattorulla vapautetaan sisäputkineen rungon päälle. Rakenteeseen voi kohdistua suurempikin kuormitus käyttötilanteissa, esimerkiksi jos täysi mattorulla pudotetaan rungon päälle. Tällaisessa tapauksessa oletetaan energian vaimenevan renkaisiin. Seuraavassa on laskettu rakenteeseen kohdistuva maksimivoima, jolla mitoitetaan rakennevaihtoehdot. Rakenteeseen kohdistuva voima saadaan yhdistämällä massan potentiaalienergian, jousen kimmo-energian ja jousivoiman kaavat 5 ja 6.

Massan potentiaalienergian muutos lasketaan kaavalla 5 (3, s. 92).

$$E_m = mgs$$

KAAVA 5

E_m = massan potentiaalienergia (kgm)

g = putoamiskiihtyvyys (m/s^2)

s = korkeuden muutos (m)

Jousen kimmoenergia lasketaan kaavalla 6 (4, s. 213).

$$E_j = \frac{1}{2} ks^2$$

KAAVA 6

E_j = jousen kimmoenergia (kgm)

k = jousivakio (kg/m)

s = poikkeama (m)

Jousivoima lasketaan kaavalla 7 (4, s. 213).

$$F_j = ks$$

KAAVA 7

F_j = jousivoima (kg)

k = jousivakio (kg/m)

s = poikkeama tasapainoasemasta (m)

Yhdistämällä jousen kimmoenergian kaavan 6 ja jousivoiman kaavan 7 voidaan laskea jousivoima suhteessa jousen kimmoenergiaan, jolloin saadaan kaava 8.

$$E_j = \frac{1}{2} F_j s$$

KAAVA 8

Mattorullan laskeutuessa palkkiin äkillisesti saadaan palkkiin kohdistuva voima, kun merkitään massan potentiaalienergia ja jousen kimmoenergia yhtä suuriksi (kaava 9).

$$E_m = E_j$$

$$\rightarrow mgs = \frac{1}{2} F_j s$$

$$\rightarrow F_j = 2mg$$

KAAVA 9

Palkkiin kohdistuvan äkillisen voiman suuruus voidaan laskea kaavalla 9. Mattorulla painaa 1 600 kg ja sen sisäputki painaa laippoineen noin 30 kg.

$$F_j = 2 \cdot 1\,630\, \text{kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_j \approx 31\,980,6\, \text{N}$$

Voima F jakautuu tasan rungon kahteen pisteeseen, jossa mattorulla lepää, koska rungon puolet ovat peilikuvat. Laskuissa on määritetty vain toisen puolen elementit, sillä puolet on identtiset. Voima F on puolet voimasta F_j . Rungon tukivoimat määräytyvät voiman F etäisyyden mukaan tukipisteestä. Rungon tukipisteisiin kohdistuvan voiman oletettiin jakautuvan tuentapisteiden etäisyyden kuormasta suhteen mukaan. Rungon etuosan tukivoima N_e yhdelle puolelle lasketaan kaavalla 10.

$$N_e = \frac{a \cdot F}{b}$$

KAAVA 10

N_e = rungon etupään tukipisteisiin jakautuva tukivoima (N)

a = voiman vaikutuspisteen ja rungon takapään etäisyys (mm)

F = runkoon vaikuttava voima (N)

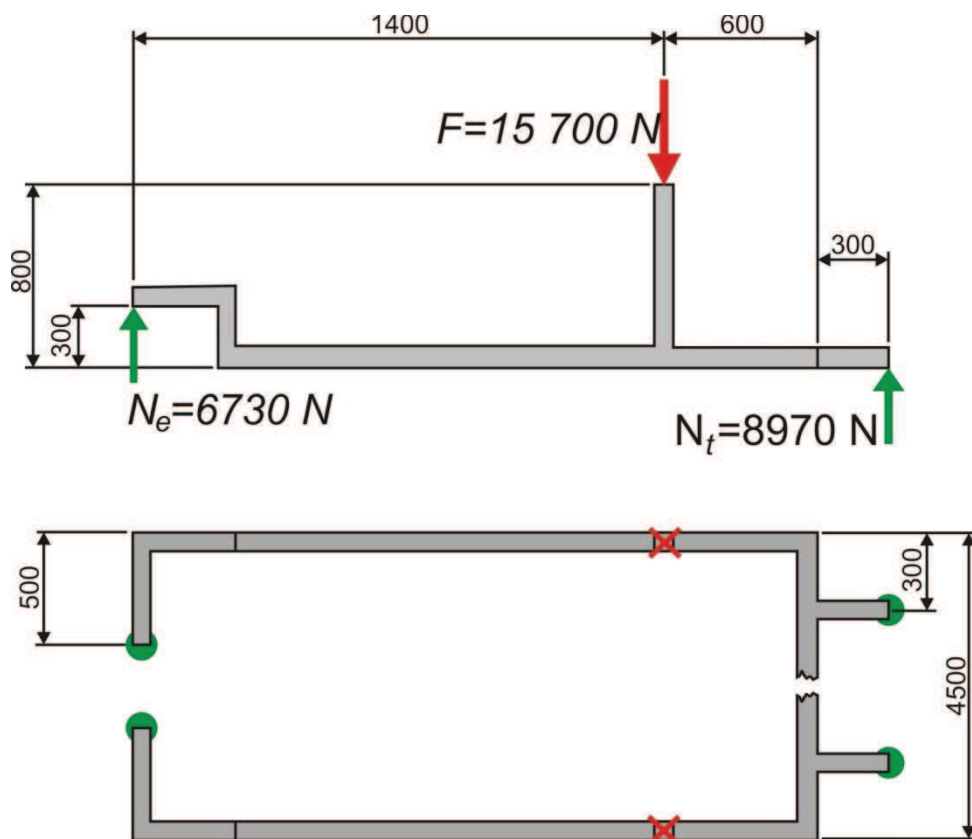
b = voiman vaikutuspisteen ja rungon etupään etäisyys (mm)

Voiman vaikutuspisteen ja rungon takapään tuentapisteen etäisyys a on 600 mm (kuva15). Kuormitus on 15 700 N ja voiman vaikutuspisteen ja rungon etupään tuentapisteen etäisyys on 1 400 mm. Seuraavassa on laskettu rungon etupäähän kohdistuva voima.

$$N_e = \frac{600 \text{ mm} \cdot 15\,700 \text{ N}}{1\,400 \text{ mm}}$$

$$N_e \approx 6\,730 \text{ N}$$

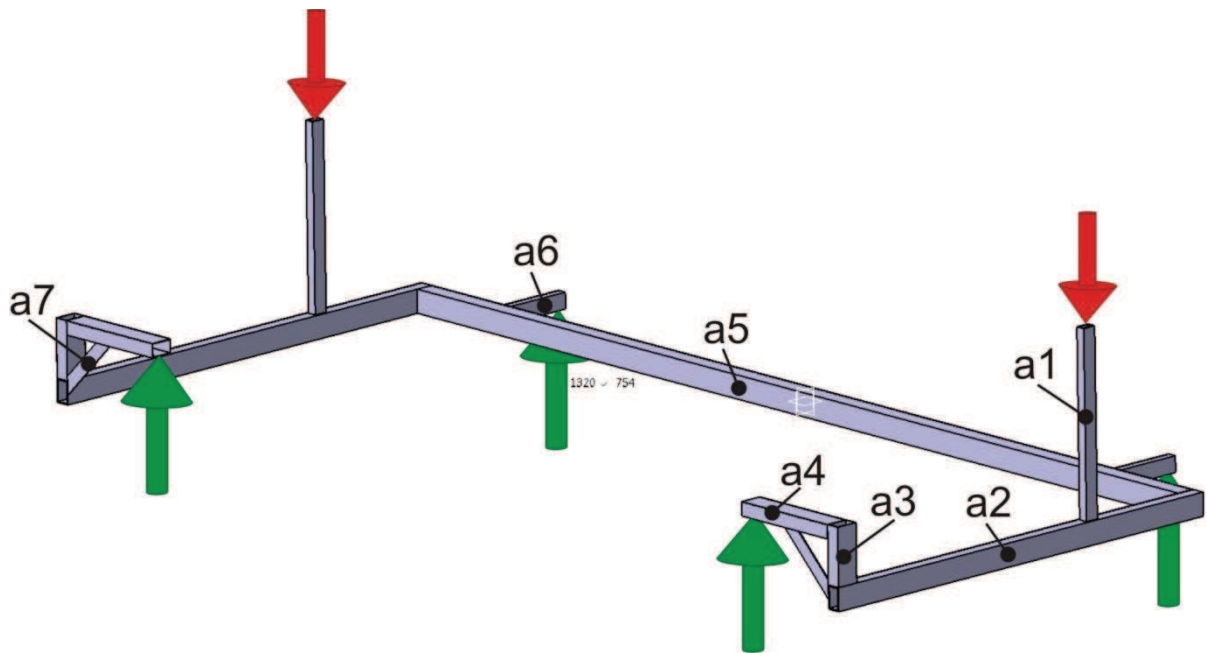
Takaosan tukivoima laskettiin samoin ja se on 8 970 N. Voimat ja mitat puolitain on esitetty kuvassa 15.



KUVA 15. Laitteen perusmitat

3.4.1 Rakenne a

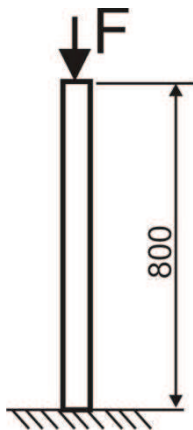
Rakenne a:n konstruktioksi valittiin yksinkertainen palkkirunkorakenne. Rakenteessa vaakapalkki yhdistää tukipisteet sekä elementin, johon voima vaikuttaa. Rungon elementit on nimetty rakenteen mukaan. Rakenteen symmetrisyyden vuoksi voidaan olettaa, että elementit ovat samanlaisia rungon molemmilla puolilla. Rungon rakenne on esitetty kuvassa 14.



KUVA 14. Runkokonstruktio, vaihtoehto a

Elementti a1

Mattorullan ja sen sisäputken tuenta tulee kiinni elementtiin a1. Palkin laskennoissa oletettu tuenta ja kuormitus on esitetty kuvassa 15.



KUVA 15. Runkorakenteen a a1-palkki kuormituskuva

Palkille tarvittava pinta-ala saadaan johdettua kaavasta 11 (3, s. 139).

$$\sigma = \frac{F}{A} \rightarrow A = \frac{F}{\sigma} \quad \text{KAAVA 11}$$

σ = pintapaine (N/mm²)

F = pintaan vaikuttava voima (N)

A = pinnan pinta-ala (mm²)

Sallittu pintapaine voidaan määrittää jakamalla käytetyn materiaalin sallittu jännitys varmuusluvulla. Varmuusluku sisällytetään laskuihin, jotta rakenne ei haajoisi odottamattomista jännitysvaihteluista. Suurella varmuusluvulla rakenteesta saadaan kestävämpi, mutta samalla materiaalin määrä lisääntyy. (5.)

$$\sigma_{sall} = \frac{R_{el}}{n} \quad \text{KAAVA 12}$$

R_{el} = myötöraja (N/mm²)

n = varmuusluku

Varmuusluvuksi palkille a1 valittiin 5, koska siihen kohdistuvat voimat eivät ole tarkkaan tiedossa. Mattorullan massan lisäksi voiman siirto saattaa aiheuttaa palkkiin kohdistuvia voimia. Lisäksi palkkiin saattaa kohdistua maton liikkeen estyessä sivuttaisia voimia. Palkille tarvittava pinta-ala voidaan määrittää yhdistämällä kaavat 11 (kaava 13).

$$A = \frac{F \cdot n}{R_{el}} \quad \text{KAAVA 13}$$

Elementtiin vaikuttava voima on 15 700 N ja varmuuskertoimeksi valittiin 5. Kun voima, varmuuskerroin ja sallittu pintajännitys asetetaan kaavaan voidaan laskea tarvittava pinta-ala elementille.

$$A = \frac{15\,700\,N \cdot 5}{215 \frac{N}{mm^2}}$$

$$A \approx 365,0\,mm^2$$

Elementti a1 valittiin vertailemalla tarvittavaa pinta-alaa taulukkoarvoihin. Tarvittava pinta-ala saadaan SFS-EN 10219-2-standardin mukaisesta suorakaiteen

muotoisesta rakenneputkesta 50x30x4,0 jossa $A = 420 \text{ mm}^2$. Sauva voi nurjah-
taa voiman vaikutuksesta. Nurjahtamiseen tarvittava voima voidaan laskea kaa-
valla 14 (3, s. 481). Valitun suorakaideputken heikomman suunnan neliömo-
mentti I_{zz} on $6,69 \text{ cm}^4$ ja teräksen kimmo-kerroin E on 210 GPa (5).

$$F_{nurf} = \frac{\pi^2 EI}{2l_n^2}$$

KAAVA 14

F_{nurf} = sauvan nurjahdukseen tarvittava voima (N)

E = aineen kimmokerroin (N/mm^2)

I = neliömomentti (mm^4)

l_n = tarkasteltavan sauvan pituus (mm)

Kun tiedetyt arvot sijoitetaan kaavaan 14, voidaan laskea sauvan nurjahtami-
seen tarvittava voima. Voiman on oltava suurempi kuin sauvaan rasittavan voi-
man $15\,700 \text{ N}$.

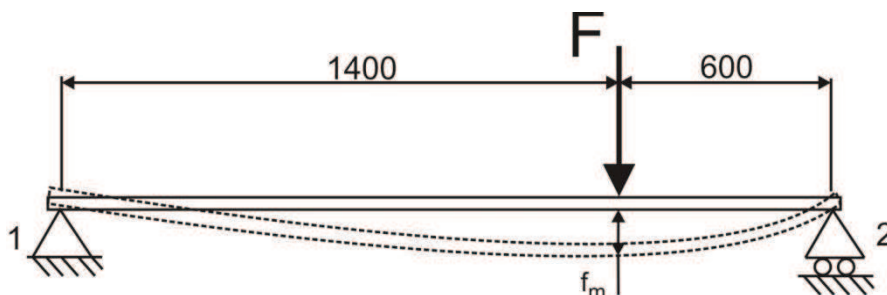
$$F_{nurf} = \frac{\pi^2 210\,000 \text{ N/mm}^2 \cdot 66\,900 \text{ mm}^4}{2 \cdot 800^2 \text{ mm}^2}$$

$$F_{nurf} \approx 108\,327,5 \text{ N}$$

Nurjahdukseen tarvittava voima on suurempi kuin elementtiin vaikuttava voima,
joten se ei nurjahda.

Elementti a2

Elementti a2 on rungon pitkittäinen palkki. Siihen kohdistuu rullan massa ja sen
päissä runkoa kannattavat voimat. Laskennoissa se ajatellaan kaksitukiseksi
palkiksi kuvan 16 mukaisesti.



KUVA 16. Elementti a2:n laskentamalli

Palkin suurin taipuma suorasta linjasta f_m voidaan laskea kaavalla 15 (3, s. 417). Kun sallittu siirtymä tiedetään, voidaan kaava johtaa siihen muotoon, että lasketaan kyseiseen siirtymään tarvittava neliömomentti.

$$f_m = \frac{Fb\sqrt{(l^2-b^2)^3}}{9\sqrt{3}EI} \rightarrow I_{tarv} = \frac{Fb\sqrt{(l^2-b^2)^3}}{9\sqrt{3}Ef_m l} \quad \text{KAAVA 15}$$

f_m = palkin suurin taipuma (mm)

F = palkkiin kohdistuva voima (N)

b = voiman etäisyys tukipisteestä 2

E = kimmokerroin (N/mm^2)

l = jäyhyysmomentti (mm^4)

l = palkin pituus (mm)

Sallittu siirtymäksi palkille oletetaan 5 mm.

$$I_{tarv} = \frac{15700 \text{ N} \cdot 600 \text{ mm} \cdot \sqrt{(2000^2 \text{ mm}^2 - 600^2 \text{ mm}^2)^3}}{5 \text{ mm} \cdot 9 \cdot \sqrt{3} \cdot 210000 \text{ N/mm}^2 \cdot 2000 \text{ mm}}$$

$$I_{tarv} \approx 1\,998\,391,375 \text{ mm}^4$$

Arvoa verrattiin taulukkoarvoihin, joista etsittiin pienin palkki, joka täyttää vaaditun neliömomentin. Palkiksi valittiin SFS-EN 10219-2 standardin mukainen 100x60x5,0 suorakaideputki, missä $I_{yy} = 181 \text{ cm}^4$ ja $A = 14,4 \text{ cm}^2$.

Palkkiin a2 kohdistuu myös vääntömomentista johtuen etupään tuennan epä-keskeisyys palkkiin nähden. On tarkasteltava palkin kiertymää, sillä se aiheuttaa siirtymää mattorullan tukipisteessä. Kuorman säde tuennassa tulee olemaan noin 500 mm.

Vääntö on voima kerrottuna voiman varrella. Vääntö voidaan laskea kaavalla 16 (5).

$$M=Fr$$

KAAVA 16

M = momentti (Nm)

F = voima (N)

r = voiman varsi (m)

Palkin kiertymä voidaan laskea kaavalla 17 (4, s.480).

$$\alpha = \frac{Ml}{GI_v}$$

KAAVA 17

α = palkin taipuma(°)

M = vääntömomentti (Nm)

l = palkin pituus (m)

G = liukukerroin (N/m²)

I_v = palkin vääntövastus (mm⁴)

Maksimitaipuman suuruus voidaan laskea suorakulmaisen kolmion avulla. Palkin a1 pituus on 800 mm ja maksimijouston tilanteessa sen pää saa liikkua 15 mm. Kun merkitään edellä mainitut pituudet kateeteiksi suorakulmaiseen kolmioon, voidaan laskea viereisen kateetin ja hypotenuusan välinen kulma. (3, s. 12)

$$\tan\alpha = \frac{a}{b} \rightarrow \alpha = \arctan \frac{a}{b}$$

KAAVA 18

α = suorakulmaisen kolmion hypotenuusan ja kateetin välinen kulma(°)

a = vastaisen kateetin pituus (mm)

b = myötäisen kateetin pituus (mm)

Maksimikiertymä palkissa voidaan laskea kun arvot sijoitetaan kaavaan 18.

$$\alpha_{max} = \arctan \frac{15 \text{ mm}}{800 \text{ mm}}$$

$$\alpha_{max} = 1,07^\circ$$

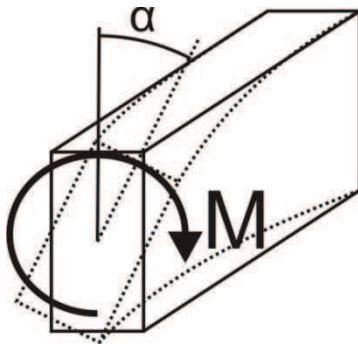
Nyt voidaan tarkistaa, ylittääkö palkin taipuma siihen sallitun taipuman suuruuden. Palkin taipuma lasketaan kaavalla 17 eikä se saa olla suurempi kuin 1,07°.

Esivalitun suorakaideputken vääntövastus on katsottavissa taulukosta ja se on 188 cm^4 (4, s. 837). Teräksen liukukerroin G on 80 GPa (4, s. 476). Kun tiedetyt arvot sijoitetaan kaavaan 17 voidaan laskea palkin kiertymä.

$$\alpha = \frac{3364,3 \text{ Nm} \cdot 2,0 \text{ m}}{80 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2 \cdot 0,0188 \text{ m}^4}$$

$$\alpha \approx 0,0447^\circ$$

Syntynyt kiertymä $0,05^\circ$ on pienempi kuin sallittu $1,07^\circ$, joten palkin vääntövastus on riittävä. Palkin kiertymän periaate on esitetty kuvassa 17.



KUVA 17. Palkin vääntymisen periaatekuva

Palkkiin kohdistuva yhdistetty jännitys voidaan laskea kaavalla 19 eikä se saa ylittää sallittua jännitystä. Sallittu jännitys on pintajännitys joka rakenteessa sallitaan.

Oletetuksi materiaaliksi oletetaan S235 jossa alempi myötöraja on 215 MPa . Varmuuskertoimeksi valittiin $1,5$. Sallittu jännitys laskettiin kaavalla 12 (s. 31).

$$\sigma_{sall} = \frac{215 \text{ N/mm}^2}{1,5}$$

$$\sigma_{sall} = 143,3 \text{ Mpa}$$

Yhdistetyn jännityksen kaava on seuraava (kaava 19) (4, s.487).

$$\sigma_{yhd} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$$

KAAVA 19

σ_{yhd} = yhdistetty jännitys (N/mm^2)

σ = puristus tai veto jännitys (N/mm²)

τ = leikkausjännitys (N/mm²)

Elementtiin syntyvä leikkausjännitys voidaan määrittää kaavalla 20 (4, s.479).

$$\tau = \frac{M}{W} \quad \text{KAAVA 20}$$

τ = leikkausjännitys(N/mm²)

M = vääntävä momentti (Nmm)

W = vääntövastus (mm³)

Palkkiin kohdistuva normaalijännitys voidaan määrittää kaavalla 11 (s. 31). Yhdistämällä normaalijännityksen- ja vääntöjännityksen kaavan saadaan johdettua yhdistetyn jännityksen kaava (kaava 21).

$$\sigma_{yhd} = \sqrt{\frac{F^2}{A} + 3 \frac{M^2}{W}} \quad \text{KAAVA21}$$

Kaavalla 21 voidaan laskea elementissä esiintyvä yhdistetty jännitys sijoittamalla siihen tiedetyt arvot.

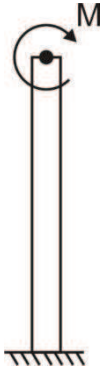
$$\sigma_{yhd} = \sqrt{\frac{15\,700\,N^2}{1\,440\,mm^2} + 3 \frac{3\,3643\,00\,Nmm^2}{45\,800\,mm^3}}$$

$$\sigma_{yhd} \approx 128\,MPa$$

Yhdistetty jännitys on pienempi kuin sallittu jännitys.

Elementti a3

Elementti on pystysuorassa kiinni rungon pitkittäisessä vaakapalkissa ja tukee elementtiä, johon rengas kiinnitetään. Oletetaan, että käytetty teräs on S235, jonka alempi myötöraja R_{el} on 215 MPa. Oletetaan laskennassa, että palkki on tuettu toisesta päästä kiinteästi ja toisessa päässä siihen kohdistuu vääntömomentti. Momentin suuruus on 3364,3 Nm, joka määräytyy tukivoimasta ja sen varresta. Sallittu pintapaine voidaan laskea kaavalla 21, kun varmuusluvuksi valitaan 1,5. Varmuusluvuksi valittiin 1,5, koska rasitukset ovat hyvin tiedossa (4, s. 502). Kuvassa 18 on esitetty elementin kuormitustapaus.



KUVA 18. Elementin a3 kuormitustapaus ja käytetty laskentamalli

Palkkiin kohdistuva taivutusjännitys voidaan laskea kaavalla 22 (3, s. 139). Palkkiin kohdistuvan taivutusjännityksen kaava voidaan johtaa muotoon jossa lasketaan tarvittavaa vääntövastusta.

$$\sigma = \frac{M}{W} \rightarrow W = \frac{M}{\sigma} \quad \text{KAAVA 22}$$

Kaavalla 23 voidaan laskea sallittu pintapaine (5).

$$\sigma_{sall} = \frac{R_{el}}{n} \quad \text{KAAVA 23}$$

Tarvittava vääntöjännitys voidaan laskea, kun yhdistetään johdettu vääntöjännityksen ja sallitun pintapaineen kaava, jolloin saadaan kaava 24.

$$W = \frac{Mn}{R_{el}} \quad \text{KAAVA 24}$$

Sijoittamalla arvot kaavaan 24 voidaan laskea palkille tarvittava vääntövastus.

$$W = \frac{3\,364,3 \text{ Nm} \cdot 1,5}{215 \cdot 10^{-4} \text{ N/m}^2}$$

$$W \approx 234\,800 \text{ mm}^3$$

Taivutusvastuksen arvoa vertailtiin taulukkotapauksiin ja valittiin SFS-EN 10219-2 -standardin mukainen suorakaideputki 100x60x3,0, missä $W_{zz} = 24,1 \text{ cm}^3$.

Elementti a4

Elementin laskentamallissa oletettiin palkki vaakapalkiksi, joka on kiinteästi kiinni toisesta päästä ja toiseen vaikuttaa kohtisuora voima. Palkin materiaaliaksi oletettiin rakenneteräs S235. Varmuusluvaksi valittiin 1,5, koska kuormitukset ovat hyvin tiedossa (4, s. 502). Palkki mitoitetaan siihen syntyvän vääntöjännityksen mukaan. Tarvittava vääntövastus voidaan määrittää kaavalla 23, kun merkitään $M = Fr$.

$$W = \frac{Frn}{R_{el}} \quad \text{KAAVA 25}$$

Tarvittava vääntövastus voidaan laskea tiedetyillä arvoilla.

$$W = \frac{6730 \text{ N} \cdot 500 \text{ mm} \cdot 1,5}{215 \text{ N/mm}^2}$$

$$W \approx 23\,500 \text{ mm}^3$$

Palkkiin syntyvä siirtymä voidaan määrittää kaavalla 26 (4, s. 419). Valitaan taulukkoarvoihin verrattuna vääntövastuksen mukaan SFS-EN 10219-2 -standardin mukainen suorakaideputki 100x60x3,0, missä $W_{yy} = 24,1 \text{ cm}^3$.

$$f_m = \frac{Fl^3}{3EI} \quad \text{KAAVA 26}$$

Siirtymän suuruus tulee tarkistaa kaavalla 24, kun oletetaan, että elementti on toisesta päästä kiinteästi tuettu.

$$f_m = \frac{6\,730 \text{ N} \cdot 300^3 \text{ mm}^3}{3 \cdot 210\,000 \text{ N/mm}^2 \cdot 2\,260\,000 \text{ mm}^3}$$

$$f_m \approx 0,13 \text{ mm}$$

Elementtiin voi syntyä esimerkiksi sekä puristus että vääntöjännitystä. Kummatkin jännitykset kasvattavat palkkiin syntyvää jännitystä ja laskennassa ne on huomioitava rinnakkain. Jännitykset voidaan yhdistää kaavan 27 osoittamalla tavalla (4, s.484).

$$\sigma_{yhd} = \sigma_v + \sigma_p \quad \text{KAAVA 27}$$

Sijoittamalla vääntöjännityksen kaavan 22 ja pintajännityksen kaavan 11 saadaan yhdistetty jännitys seuraavaan muotoon.

$$\sigma_{yhd} = \frac{M}{W} + \frac{F}{A} \quad \text{KAAVA28}$$

Sijoittamalla laskennalliset arvot kaavaan 28 voidaan laskea elementtiin syntyvä yhdistetty jännitys.

$$\sigma_{yhd} = \frac{6730 \text{ N} \cdot 500 \text{ mm}}{24100 \text{ mm}^3} + \frac{6730 \text{ N}}{901 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma_{yhd} = 147,1 \text{ N/mm}^2$$

Yhdistetty jännitys ylittää sallitun jännityksen rajan 143,3 MPa. Valitaan palkiksi samankokoinen suorakaideputki, jossa on paksumpi seinämä. 100x60x4,0 suorakaideputkessa $A = 11,7 \text{ cm}^2$ ja $W = 30,4 \text{ cm}^3$. Yhdistetyn jännityksen laskenta suoritetaan uudestaan käyttäen paksumpiseinämäisen suorakaide putken ominaisuuksia.

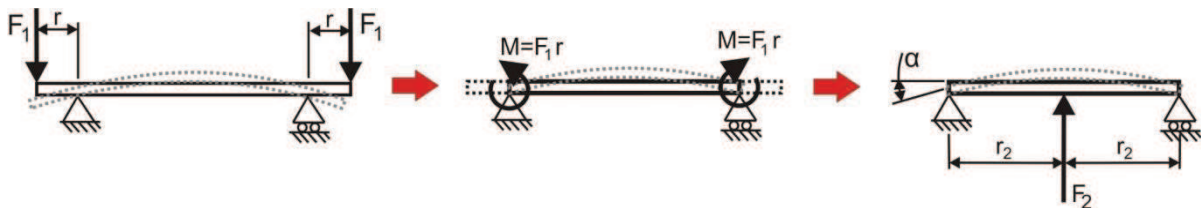
$$\sigma_{yhd} = \frac{6730 \text{ N} \cdot 500 \text{ mm}}{30500 \text{ mm}^3} + \frac{6730 \text{ N}}{1170 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma_{yhd} \approx 116,1 \text{ N/mm}^2$$

Valitaan SFS-EN 10219-2 standardin mukainen suorakaideputki 100x60x4,0.

Elementti a5

Elementti 5:ssä tuet ovat keskellä elementtiä ja voimat vaikuttavat sen päässä. Elementin päät ovat kiinni palkissa a2, joka saa kiertyä vain $0,36^\circ$, jotta matto-
rullan kannattimien siirtymät pysyvät sallituissa rajoissa. Elementille a5:lle sallittava taipuma sen päihin on $0,36^\circ$. Laskennan yksinkertaistamiseksi päässä vaikuttavat voimat oletettiin vääntömomenteiksi tukipisteisiin ja siitä edelleen palkin keskelle vaikuttavaksi voimiksi. Periaate on esitetty kuvassa 19. Tällöin palkille tarvittava neliömomentti voidaan johtaa kaavasta 29, kun tiedetään sallittu kiertymäkulma (4, s. 417).



KUVA 19. Palkin α 5 taipuman laskennan yksinkertaistamisen periaate

Palkkiin syntyvän taipuman kaava johdettuna neliömomentin kaavaksi.

$$\alpha = \frac{F l^3}{16 E I} \rightarrow l = \frac{F l^3}{16 E \alpha} \quad \text{KAAVA 29}$$

Momentti tukipisteissä voidaan laskea kaavalla 10 (s. 29). Palkin keskelle vaikuttava virtuaalinen voima voidaan laskea kaavalla 30. Palkin pään ja tukipisteiden etäisyys on 300 mm palkin kummassakin päässä. Palkin tukipisteiden ja keskikohdan välinen etäisyys on 1 950 mm. Kuvan 16 mukaisilla merkinnöillä voiman F_2 kaavaksi saadaan kaava 30.

$$F_2 = 2 \frac{F_1 r}{r_2} \quad \text{KAAVA 30}$$

Kaavaan 30 sijoittamalla tiedetyt arvot voidaan laskea keskelle vaikuttava virtuaalinen voima.

$$F_2 = 2 \frac{15700 \text{ N} \cdot 0,3 \text{ m}}{1,95 \text{ m}}$$

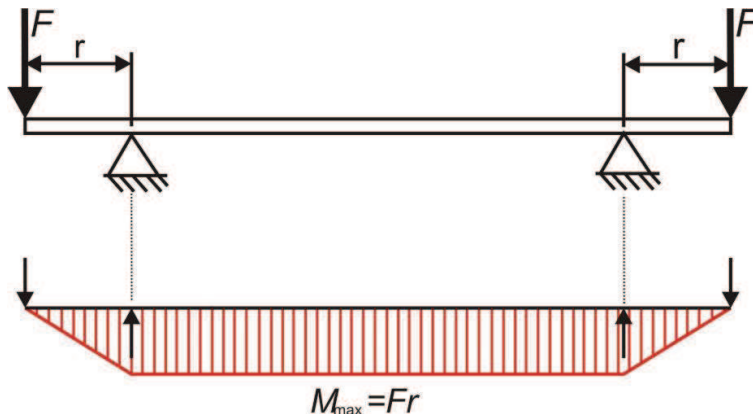
$$F_2 = 4830,8 \text{ N}$$

Kaavalla 29 voidaan määrittää palkille tarvittava neliömomentti. Varmuusluku on huomioitu kertomalla vaikuttava voima varmuusluvulla. Varmuusluvuksi n on valittu 5, koska palkkiin kohdistuvat taivutusvoimat eivät ole tiedossa $x - z$ -tasossa.

$$I_{\text{tarv}} = \frac{4830,8 \text{ N} \cdot 3 \cdot 3900^2 \text{ mm}^2}{16 \cdot 210\,000 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,36^\circ}$$

$$I_{\text{tarv}} = 182\,233,3 \text{ mm}^4$$

Tarkastellaan elementtiä myös tarvittavan taivutusvastuksen kautta. Elementti on 2-tukinen palkki, jossa tuet ovat keskellä palkkia ja voimat vaikuttavat palkin päissä. Laskentamalli ja palkkiin vaikuttava momentti on esitetty kuvassa 20.



KUVA 20. Elementti a5 kuormitus

Palkille tarvittava vääntöjäyhyys voidaan laskea kaavalla 31 kun merkitään mometti on voima kertaa voiman varsi.

$$W_{tarv} = \frac{Frn}{R_{el}} \quad \text{KAAVA 31}$$

$$W_{tarv} = \frac{8971,4 \text{ N} \cdot 500 \text{ mm} \cdot 2}{215 \text{ N/mm}^2}$$

$$W_{tarv} = 41\,725,6 \text{ mm}^3$$

Palkiksi valitaan vääntöjäyhyyden perusteella SFS-EN 10219-2 -standardin mukainen suorakaideputki 100x80x5,0, missä $I_y = 226\,000 \text{ mm}^4$.

Palkille tuli suorittaa myös tarkastelu sen kiertymän suhteen. Palkkiin kohdistuu vääntöjännitystä momentin vaikutuksesta. Kaavaan on yhdistetty momentin kaava 16 (s. 34). Vaikuttava voima on laskettu tukivoima 6730 N, jonka voiman varsi palkkiin nähden on 300 mm. Palkin 100x80x5,0 vääntöjäyhyys I_y on 30,8 cm^4 . Jännitysten suuruus voidaan laskea kaavalla 28.

$$T_{max} = \frac{8971,4 \text{ N} \cdot 300 \text{ mm}}{308\,000 \text{ mm}^4}$$

$$\tau_{\max} \approx 8,0 \text{ N/mm}^2$$

Sallitun leikkausjännityksen suuruus voidaan määrittää kaavalla 32 (4, s.10).

$$\tau_{sall} = \frac{R_{el}}{n\sqrt{3}} \quad \text{KAAVA 32}$$

Sijoittamalla arvot kaavaan 32 voidaan laskea leikkausjännityksen suuruus.

$$\tau_{sall} = \frac{215 \text{ N/mm}^2}{3 \cdot \sqrt{3}}$$

$$\tau_{sall} = 41,4 \text{ N/mm}^2$$

Palkkiin syntyvä leikkausjännitys on pienempi kuin sallittu jännitys.

Elementti a6

Laskennassa palkki oletetaan toisesta päästä kiinnitetyksi ja voiman vaikuttavan varren r verran palkin keskipisteestä. Laskennoissa materiaaliksi oletettiin S235, missä $R_{el} = 215 \text{ MPa}$. Palkkiin tarvittava vääntöjännitys voidaan määrittää kaavalla 24 (s. 37).

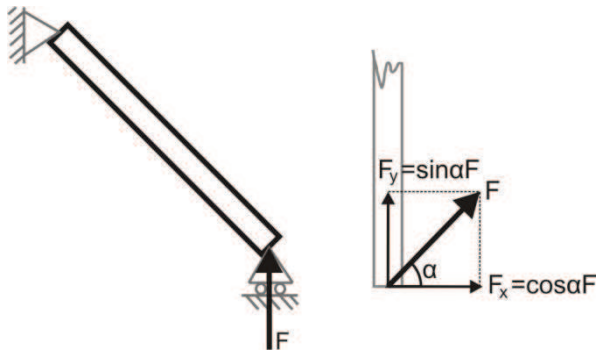
$$W = \frac{8971,4 \text{ N} \cdot 300 \text{ mm} \cdot 1,5}{215 \text{ N/mm}^2}$$

$$W \approx 19\,000 \text{ mm}^3$$

Palkiksi valitaan SFS-EN 10219-2-standardin mukainen suorakaideputki 80x60x5,0, missä $W_{yy} = 25,8 \text{ cm}^3$.

Elementti a7

Elementtien a4 ja a3 liitoskohtaan syntyvää jännitystä voidaan vähentää tukilevyllä a7. Tukilevylle kohdistetaan 0,5*F voima. Tukilevyn laskennallinen tuenta ja voimien jakautuminen on esitetty kuvassa 21



KUVA 21. Elementtiin kulmassa vaikuttavan voiman komponenttien vaikutus

Paksuudeksi tukilevyille oletettiin 5 mm. Tukilevyn leveys määritettiin kaavalla 33. Kaavaan pinta-ala A on merkitty $A = cs$.

$$cs = \frac{Fr_n}{r_2 R_{el}} \quad \text{KAAVA 33}$$

$$c = \frac{Fr_n}{r_2 s R_{el}}$$

Tukeen kohdistuva vetovoima oletetaan olevan $\sin 45^\circ \cdot F$.

$$c = \frac{\sin 45^\circ \cdot 6730 \text{ N} \cdot 500 \text{ mm} \cdot 5}{200 \text{ mm} \cdot 5 \text{ mm} \cdot 215 \text{ N/mm}^2}$$

$$c \approx 55,3 \text{ mm}$$

Esivalittujen elementtien perusteella tehtiin Catia -ohjelmalla rakenteesta malli ja tarkasteltiin sen toimivuutta kokonaisuutena. Rakenteeseen syntyneet jännitykset pysyivät sallituissa rajoissa. Syntynyt maksimipoikkeama oli 3,2 mm. Catia-ohjelmalla laskettu analyysimalli on esitetty kuvassa



KUVA 22. Catia-ohjelmalla laskettu analyysi rakenteesta a, sille esivalituilla elementeillä

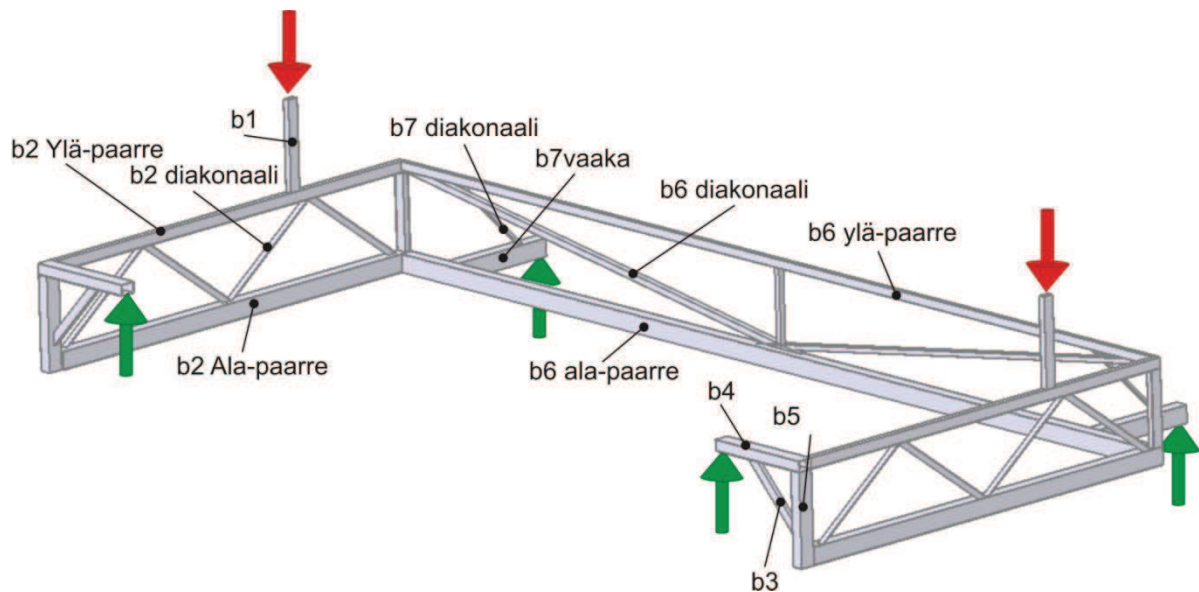
Taulukossa 9 on listattu rakenteeseen a valitut elementit, niiden pituus ja määrä. Taulukossa on myös laskettu elementtien painot ja rakenteen kokonaispaino. Profiilien painot metriä kohden (kg/m) on lähteen 4 sivuilta 836 - 837.

TAULUKKO 9. Rakennevaihtoehtoon valittujen elementtien profiili, pituus, määrä, paino metriä kohden sekä kokonaispaino (4, s. 836 - 837)

Elementti:	Valittu profiili:	Pituus (mm):	Määrä (kpl):	Paino (kg/m):	Paino (kg):
a1	50x30x4,0	800	2	4,2	6,7
a2	100x60x5,0	2000	2	9,22	36,9
a3	100x60x3,0	300	2	7,07	4,2
a4	100x60x4,0	500	2	9,22	9,2
a5	100x80x5,0	4440	1	12,8	56,8
a6	80x60x5,0	300	2	9,7	5,8
a7	5x60	424,3	2	2,3	2,0
Koko rakenteen paino (kg):					121,7
Rakenteen maksimijousto 31 400 N kuormituksella (mm):					3,2

3.4.2 Rakenne b

Rakenteessa b on käytetty kolmioelementtejä rakenteen jäykkyyden luomiseksi. Rakenne on esitetty kuvassa 23. Perusmitat ja tukivoimat ovat samat kuin rakennevaihtoehdossa a. Tässä luvussa esivalitaan rungon elementit.



KUVA 23. Rakenne b

Elementti b1

Profiiliksi valitaan sama kuin a:ssa kuormituksen identtisyyden vuoksi. Elementin pituus on 400 mm, joten nurjahdustarkastelua ei tarvitse tehdä. Valittu suoraideputkipalkki on 50x30x4,0.

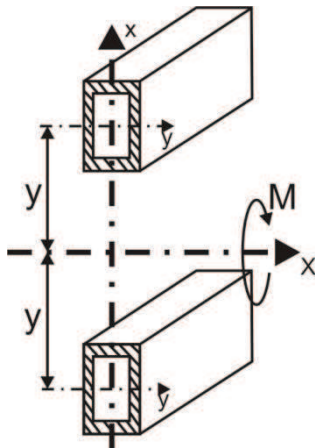
Elementti b2

Kehikkorakenteen paareputket tarkastellaan kiertymän mukaan kahdessa suunnassa kuvien 23 ja 24 mukaisesti. Ensiksi laskettiin paarteille tarvittava pinta-ala pystysuuntaisten voimien tukemiseksi. Laskenta suoritettiin jouston mukaan, kuten elementissä a2. Elementin b2 rakennetta tarkasteltiin myös sen vääntymisen mukaan.

Maksimijouston perusteella voidaan kaavasta 15 (s. 33) johtaa tarvittava neliömomentti.

$$f_m = \frac{Fb\sqrt{(l^2-b^2)^3}}{9\sqrt{3}EI} \rightarrow I = \frac{Fb\sqrt{(l^2-b^2)^3}}{9\sqrt{3}Ef_m}$$

Tapauksessa tutkitaan kahden palkin jäyhyysmomenttia niiden ollessa etäisyydellä y momentti akselista. Tapauksen laskentamalli on esitetty kuvassa 24.



KUVA 24. Elementin b2 jäyhyysmomentin määrittämisen periaatekuva

Neliömomentin peruskaava on neliömomenttien summa, johon lisätään pinta-ala kertaa säteen neliö (kaava 34) (4, s. 471).

$$I = \sum I_0 + A r^2 \quad \text{KAAVA 34}$$

Yksinkertaisen kappaleen sisäpinnan sisältä taivutettavan kappaleen neliömomentti on esitetty kaavassa 35 (2, s. 471).

$$I_0 = \sum y^2 \Delta A \quad \text{KAAVA 35}$$

Taivutuksessa poikkipinnassa on momenttitasapaino. Merkitään momentti neutraaliakselille kaavassa 36 (4, s. 471).

$$M = \frac{\sigma_1}{y_1} \sum y^2 \Delta A \quad \text{KAAVA 36}$$

Tapauksen momentin maksimi lasketaan kaavalla 33 (4, s. 417).

$$M_{\max} = \frac{F a b}{l} \quad \text{KAAVA 37}$$

Sallittu jännitys lasketaan kaavalla 12 (s. 31).

$$\sigma_{\max} = \frac{R_{el}}{n}$$

Yhdistämällä kaavat 36, 37 saadaan neliömomentin lauseke tässä tapauksessa (kaava 38).

$$M = \frac{\sigma_1}{y_1} I_0 \rightarrow \frac{F a b}{I} = \frac{\sigma_1}{y_1} I_0 \rightarrow I_0 = \frac{F a b e_1}{I \sigma_1} \quad \text{KAAVA 38}$$

Nyt taivutusvastuksen kaavaksi seuraava merkitsemällä kaavan 38 mukainen I_0 kaavaan 34 (kaava 39)

$$I = \sum \frac{F a b e_1 n}{I R_{el}} + A y^2 \quad \text{KAAVA 39}$$

Edelleen kaavan merkitään kaavan 39 mukainen neliömomentti kaavan 15 (s. 33) neliömomentiksi, jolloin saadaan seuraava lauseke.

$$\sum \frac{-F a b e_1 n}{I R_{el}} + A y^2 = \frac{F b \sqrt{(I^2 - b^2)^3}}{9 \sqrt{3} E f_m I}$$

$$\rightarrow 2 \left(\sum \frac{-F a b e_1 n}{I R_{el}} + A y^2 \right) = \frac{F b \sqrt{(I^2 - b^2)^3}}{9 \sqrt{3} E f_m I}$$

Järjestämällä lauseketta saadaan ratkaistua tarvittava pinta-ala.

$$\rightarrow A_{tarv} = \frac{F b \sqrt{(I^2 - b^2)^3}}{18 \sqrt{3} E f_m I y^2} - \frac{-F a b e_1 n}{I R_{el} y^2}$$

Nyt tarvittava pinta-ala voidaan laskea kun valitaan varmuusluvuksi 3.

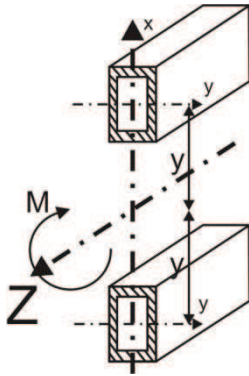
$$A_{tarv} = \frac{15\,700\, \text{N} \cdot 600\, \text{mm} \sqrt{(2000^2\, \text{mm}^2 - 600^2\, \text{mm}^2)^3}}{2 \cdot 9 \cdot \sqrt{3} \cdot 210\,000\, \text{N/mm}^2 \cdot 2000\, \text{mm} \cdot 5 \cdot 150^2\, \text{mm}^2}$$

$$- \frac{15\,700\, \text{N} \cdot 600\, \text{mm} \cdot 1400\, \text{mm} \cdot 150\, \text{mm} \cdot 3}{2000\, \text{mm} \cdot 215\, \text{N/mm}^2 \cdot 150^2\, \text{mm}^2}$$

$$A_{tarv} = 657,8\, \text{mm}^2$$

Valitaan profiiliksi SFS-EN 10219-2 standardin mukainen suorakaideputki 50x30x2,5 pinta-alan A mukaan.

Tarkastelu suoritetaan myös kiertymän osalta. Elementin päähän vaikuttaa tuennan epäkeskeisyyden vuoksi vääntömomentti, joka pyrkii kiertämään elementtiä. Laskennan malli on esitetty kuvassa 25.



KUVA 25. Elementin b2 väännön määrittämisen periaatekuva

Rakenne suunnitellaan siten, että alempi paarre estää vääntymisen. Alemmalle parteele voidaan laskea tarvittava vääntöjäyhyys kaavalla 40.

$$\alpha = \frac{MI}{GI_v} \rightarrow I_v = \frac{nMI}{G\alpha} \quad \text{KAAVA 40}$$

Laskennan vääntömomenttina käytetään samaa kuin elementti a2:ssa, millä voidaan määrittää nyt tarvittava vääntöjäyhyys.

$$I_v = \frac{3 \cdot 364 \, 300 \, \text{Nmm} \cdot 2000 \, \text{mm}}{80 \, 000 \, \text{N/mm}^2 \cdot 0,36^\circ}$$

$$I_v = 700 \, 896 \, \text{mm}^4$$

Valitaan alemman parteen profiiliksi SFS-EN 10219-2 -standardin mukainen suorakaideputki 80x60x2,5, missä $I_v = 75,1 \, \text{cm}^3$.

Diagonaali

Diagonaalelementtejä on sivun elementissä neljä kappaletta. Oletetaan painon jakautuvan niiden kesken tasaisesti.

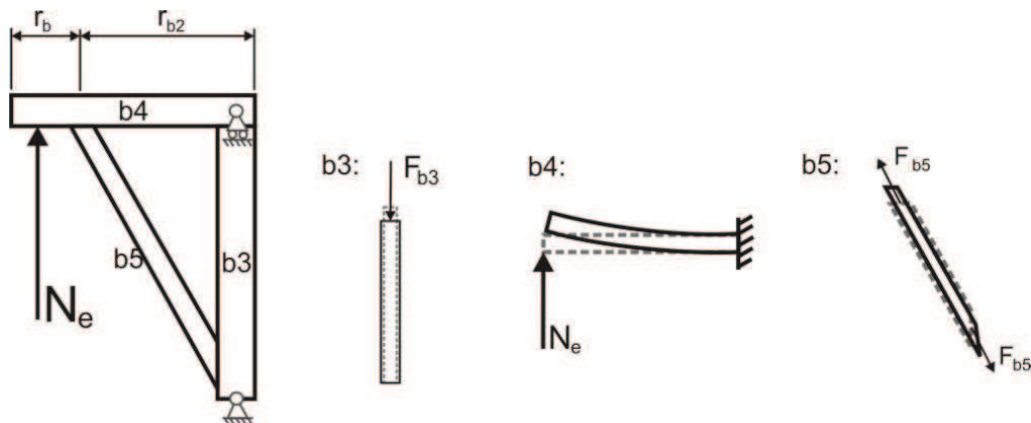
$$I_{tarv} = \frac{\sin 27,5^\circ \cdot 15\,700\, \text{N} \cdot 10 \cdot 561^2 \text{ mm}^2}{\pi^2 \cdot 210\,000 \text{ N/mm}^2}$$

$$I_{tarv} \approx 11\,010 \text{ mm}^4$$

Valittu L30/30x3, missä pinta-ala A on $165,2 \text{ mm}^2$ ja neliömomentti I on $14\,162 \text{ mm}^4$.

Elementit b3

Elementin b3 pituus on noin 200 mm ja se on yhteydessä b4:n ja 5:n. Elementti b3 on tukielementti, joka vähentää elementtien b3 ja b4 välille syntyviä voimia. Kuvassa 26 on esitetty elementtien b3, b4 ja b5 laskennalliset kuormitustapaukset.



KUVA 26. Elementit b3, b4 ja b5

Elementtiin b3 kohdistuu lähinnä puristusjännitystä, kun oletetaan, että poikkiteki b5 toimii saranan tavoin palkille b4. Kokoonpantavuuden vuoksi elementiksi b3 valitaan sama suorakaideputki kuin elementtiin b4, jos sen poikkipinnan pinta-ala on riittävä. Palkkiin kohdistuva voima voidaan laskea seuraavasti, kun oletetaan elementtien b5 ja b3 kiinnitys saranaksi.

$$F = \frac{r_b}{r_{b2}} F_1$$

KAAVA 41

Yhdistettynä palkille tarvittavan pinta-alan kaava (kaava 11) (s. 31) ja palkkiin kohdistuvan voiman kaava (kaava 41) saadaan johdettua pinta-alan kaava kyseessä olevalle kuormitustapaukselle.

$$A_{tarv} = \frac{r_b F n}{r_{b2} R_{el}}$$

KAAVA 42

Sijoittamalla tiedetyt arvot kaavaan 42 voidaan määrittää tarvittava pinta-ala palkille b3.

$$A_{tarv} = \frac{150 \text{ mm} \cdot 9\,185 \text{ N} \cdot 3}{350 \text{ mm} \cdot 215 \text{ N/mm}^2}$$

$$A_{tarv} = 91,5 \text{ mm}^2$$

Elementti a3:ksi valittiin SFS-EN 10219-2 -standardin mukainen suorakaideputki 100x60x3,0, minkä poikkipinta-ala on suurempi kuin 91,5 mm².

Elementti b4

Elementti b4 valitaan siihen kohdistuvan vääntöjännityksen perusteella kaavalla 22 (s. 37). Kun kaavaan yhdistetään sallitun taivutusjännityksen kaava 24 (s. 37) sekä merkitään vääntö $M = Fr$, saadaan laskettua vääntövastus W .

$$W = \frac{Fr_b n}{R_{el}}$$

KAAVA 43

Sijoittamalla arvot kaavaan 43 voidaan laskea elementille b4 tarvittava pinta-ala.

$$W = \frac{6\,728,6 \text{ N} \cdot 150 \text{ mm} \cdot 3}{215 \text{ N/mm}^2}$$

$$W \approx 14\,083 \text{ mm}^3$$

Valitaan SFS-EN 10219-2 -standardin mukainen suorakaideputki 70x50x2,5. Elementti b3:ksi valitaan myös 70x50x2,5 kokoonpantavuuden vuoksi. Sen poikkipinnan pinta-ala on riittävä 559 mm², sillä se on suurempi kuin 91,5 mm².

Elementti b5

Tukisauvaan kohdistuva voima voidaan laskea, kun lasketaan tukivoiman aiheuttama vääntömomentti elementin b4 päässä ja jaetaan se tuen pään etäisyydellä momenttipisteestä.

$$F = \frac{Fr}{r_2}$$

Sijoittamalla arvot voidaan laskea elementtiin b5 kohdistuva vetovoima.

$$F = \frac{6\,428,6\text{ N} \cdot 500\text{ mm}}{350\text{ mm}}$$

$$F \approx 9200\text{ N}$$

Sauvaan kohdistuva vetovoima on 9,2 kN. Tarvittava pinta-ala elementille saadaan laskettua kaavalla 11 (s. 31).

$$A_{\text{tarv}} = \frac{9\,200\text{ N} \cdot 3}{215\text{ N/mm}^2}$$

$$A_{\text{tarv}} \approx 128,4\text{ mm}^2$$

Valitaan SFS-EN 10219-2 standardin mukainen suorakaideputki 40x20x2,0.

Elementti b6

Paarteet

Yhdistetään syntyvän voiman kaava 30 (s. 40) taipuman kaavaan 29 saadaan seuraavaa johdettua paarteelle tarvittava neliömomentti.

$$\alpha = \frac{F_2 l^2}{16EI} \rightarrow \alpha = \frac{2F_1 r l^2}{r_2 16EI} \rightarrow I = \frac{2F_1 r l^2}{r_2 16E\alpha}$$

Nyt yhdistämällä neliömomentin johdettuun kaavaan 35 (s. 46) saadaan kaava pinta-alan määrittämiseksi paarteille.

$$\sum \frac{-F a b e_1 n}{I R_{el}} + A y^2 = \frac{2F_1 r l^2}{r_2 16E\alpha} \rightarrow 2 \frac{-F a b e_1 n}{I R_{el}} + A y^2 = \frac{2F_1 r l^2}{r_2 16E\alpha}$$

$$\rightarrow A = \frac{2F_1 r l^2}{r_2 16E\alpha y^2} - \frac{-F a b e_1 n}{I R_{el} y^2}$$

KAAVA44

Sijoittamalla arvot 44 voidaan määrittää paarteille tarvittava pinta-ala.

$$A_{tarv} = \frac{2 \cdot 15700 \text{ N} \cdot 300 \text{ mm} \cdot 3900^2 \text{ mm}^2}{1950 \text{ mm} \cdot 16 \cdot 210 \text{ 000 N/mm}^2 \cdot 0,36^\circ \cdot 150^2 \text{ mm}^2} - \frac{2 \cdot 15 \text{ 700 N} \cdot 1,5 \cdot 300 \text{ mm}}{1950 \text{ mm} \cdot 215 \text{ N/mm}^2}$$

$$A_{tarv} = 70,1 \text{ mm}^2$$

Alapaareta tarkastellaan erikseen, sillä sen täytyy pystyä vastustamaan tuennan epäkeskeisyydestä johtuvaa kiertävää vääntömomenttia. Yläpaarteeksi valitaan taulukon pienin SFS-EN 10219-2 -standardin mukainen suorakaideputki 40x20x2,0. Koska b7-elementti on tuettu päästä myös yläpaarteeseen, lasetaan sen vaikutus vääntömomenttiin.

Oletetaan että yläpaarre taipuu maksimitilanteessa 5 mm. Tähän taipumaan tarvittava voima voidaan johtaa kaavasta 45 (4, s.419).

$$f = \frac{Fl^3}{2EI} \rightarrow F = \frac{f2EI}{l^3} \quad \text{KAAVA 45}$$

Sijoittamalla arvot voidaan laskea 5 mm taipumaan tarvittava voima, kun käytetään profiilia 40x20x2,0.

$$F_t = \frac{5 \text{ mm} \cdot 2 \cdot 210000 \text{ N/mm}^2 \cdot 134 \text{ 000 mm}^3}{300^3 \text{ mm}^3}$$

$$F_t = 1042,2 \text{ N}$$

Kertomalla voima voiman varrella saadaan sen momentti.

$$M_t = F_t \cdot r$$

Sijoittamalla edellä laskettu taipuman aikaansaama voima momentin kaavaan voidaan laskea samaan taipumaan tarvittava vääntömomentti.

$$M_t = 1042,2 \text{ N} \cdot 300 \text{ mm}$$

$$M_t = 312 \text{ 666,7 Nmm}$$

Alempaan paarteeseen kohdistuva vääntömomentti on voiman varsi kerrottuna voimalla, josta vähennetään edellä laskettu M_t .

$$M = Fr - M_t$$

$$M = 8\,971,4 \text{ N} \cdot 300 \text{ mm} - 312\,666,7 \text{ Nmm}$$

$$M = 2\,378\,753,3 \text{ Nmm}$$

Tarvittava vääntövastus voidaan laskea kaavalla 40, jossa on yhdistetty tarvittavan vääntöjäyhyden kaava 24 (s. 37) ja jännityksen kaava 32 (s. 42).

$$W_t = \frac{Mn\sqrt{3}}{R_{el}} \quad \text{KAAVA 46}$$

Sijoittamalla arvot kaavaan 46 voidaan laskea tarvittava vääntövastus:

$$W_t = \frac{2\,378\,753,3 \text{ Nmm} \cdot 1,5 \cdot \sqrt{3}}{215 \text{ N/mm}^2}$$

$$W_t = 28\,745,0 \text{ mm}^3.$$

Valitaan SFS-EN 10219-2 standardin mukainen suorakaideputki 80x60x4,0, missä $W_t = 30,3 \text{ cm}^3$.

Diakonaalit

Puristusvoima, joka kohdistuu elementtiin kohtisuoraan, on laskettavissa kuvan 21 (s. 36) mukaisella tavalla. Diakonaalipalkkien kaltevuus vaakatasoon nähden on $7,6^\circ$.

$$F = \sin 7,6^\circ \cdot 15700$$

$$F = 2075 \text{ N}$$

Valitaan palkki neliömomentin mukaan nurjahtamisen varmistamiseksi. Tarvittava neliömomentti voidaan määrittää nurjahdusvoiman kaavalla 14 (s. 32).

$$F = \frac{\pi^2 EI}{l_n^2} \rightarrow I = \frac{F n l_n^2}{\pi^2 E}$$

Sauvan pituus on laskettavissa Pythagoraan lauseella. Sauvan pituus on hypotenuusa ja kateettien pituudet ovat 2 250 mm ja 300 mm.

$$a = \sqrt{b^2 + c^2} \quad \text{KAAVA 47}$$

$$l_n = \sqrt{2250^2 \text{ mm}^2 + 300^2 \text{ mm}^2}$$

$$l_n = 2269,9 \text{ mm}$$

Diagonaalipalkille tarvittava neliömomentti voidaan laskea kaavasta 14 johdetulla kaavalla.

$$I = \frac{2\,075 \text{ N} \cdot 1,5 \cdot 2\,269,9^2 \text{ mm}^2}{\pi^2 \cdot 210\,000 \text{ N/mm}^2}$$

$$I = 7\,738 \text{ mm}^4$$

Valitaan kylmämuovattu tasakylkinen L-profiili L30/30x2,0.

Elementti b7

Diagonaalituki

Tukivoima on joka palkkiin kohdistuu on 8971,4 N ja se vaikuttaa 45°:n kulmassa. Palkin pituussuuntainen voimakomponentti voidaan määrittää seuraavasti.

$$F_x = \sin \alpha F$$

$$F_x = \sin 45^\circ \cdot 8\,971,4 \text{ N}$$

$$F_x = 4\,485,7 \text{ N}$$

Lasketaan palkille tarvittava jäyhyys nurjahduksen suhteen kaavalla 14 (s. 32).

$$I = \frac{4485,7 \text{ N} \cdot 3 \cdot 2269,9^2 \text{ mm}^2}{\pi^2 \cdot 210\,000 \text{ N/mm}^2}$$

$$I = 1167 \text{ mm}^4$$

Valitaan L20/20x2,0, missä $I = 2797 \text{ mm}^4$.

Vaakatuki

Vaakatuki elementille lasketaan tarvittava vääntöjäyhyys kaavalla 25 (s. 38).

$$\sigma = \frac{M}{W} \rightarrow W = \frac{F r n}{R_{el}}$$

Sijoittamalla tiedetyt arvot voidaan laskea elementin b7 vaakatuella tarvittava vääntöjäyhyys.

$$W_{tarv} = \frac{8971,4 \text{ N} \cdot 300 \text{ mm} \cdot 1,5}{215 \text{ N/mm}^2}$$

$$W_{tarv} \approx 19\,000 \text{ mm}^3$$

Valitaan SFS-EN 10219-2 standardin mukainen suorakaideputki 80x60x4,0, missä $W = 22,0 \text{ cm}^3$.

Kuvassa 27 on esitetty esivalittujen profiilien perusteella tehty analyysimalli. Catia -ohjelmalla tehdyssä analyysimallissa jännitykset ylittivät sallitun rajan elementin b7 vaakatuessa. Maksimisiirtymäksi ohjelman analyysissä saatiin 7,6 mm.



KUVA 27. Catia-ohjelmalla tehty analyysimalli rakenteesta b

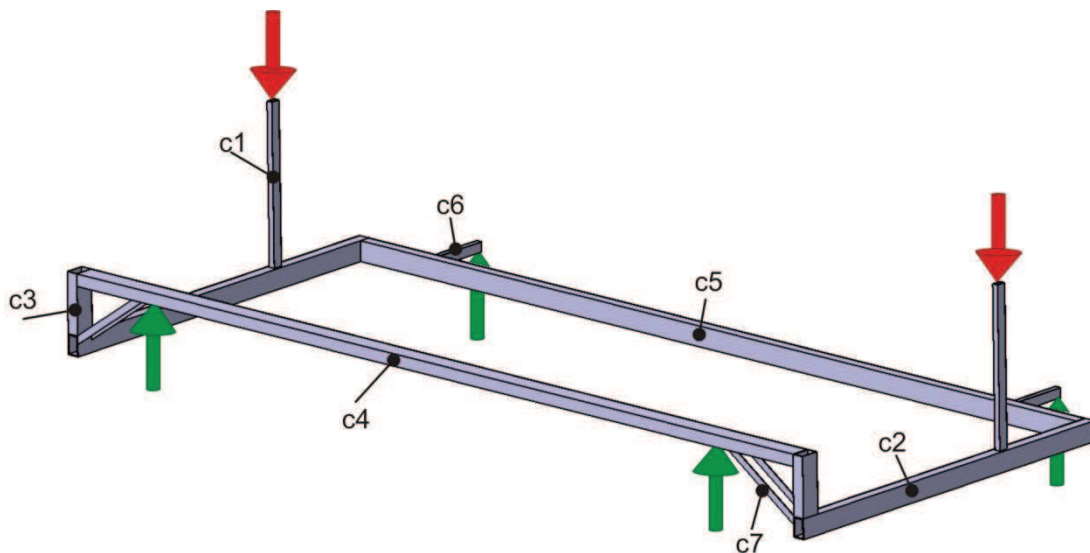
Taulukossa 10 on listattu rakenteeseen valitut elementit, niiden pituus ja määrä. Taulukossa on myös elementtien painot sekä rakenteen kokonaispaino.

TAULUKKO 10. Rakenteelle b elementeiksi valitut profiilit, elementtien pituudet, määrät, profiilien painot metriä kohden sekä painot (4, s. 836 - 837)

Elementti:	Valittu profiili:	Pituus (mm):	Määrä (kpl):	Paino (kg/m):	Paino (kg):
b1	50x30x4,0	500	2	4,2	4,2
b2 ylä	50x30x2,5	1975	2	2,85	11,3
b2 ala	80x60x2,5	1975	2	5,17	20,4
b2 diakonaali	L30/30x3,0	561,3	8	1,3	5,8
b2 pysty	50x30x4,0	260	2	4,2	2,2
b3	70x50x2,5	300	2	4,39	2,6
b4	70x50x2,5	400	2	4,39	3,5
b5	40x20x2,0	460	2	1,68	1,5
b6 ylä	40x20x2,0	4470	1	1,68	7,5
b6 ala	80x60x4,0	4440	1	7,79	34,6
b6 diakonaali	L30/30x2,0	2215	2	0,89	3,9
b6 pysty	L30/30x2,0	260	1	0,89	0,2
b7 vaaka	80x60x4,0	300	2	7,79	4,7
b7 diakonaali	L20/20x2,0	424,3	2	0,58	0,5
Koko rakenteen paino (kg):					103,0
Rakenteen maksimijousto 31 400 N kuormituksella (mm):					6,7

3.4.3 Rakenne c

Rakenne c on kuvan mukainen. Se on muuten samankaltainen, mutta elementti c4 kulkee rakenteen läpi. Elementin yhdistäessä puolet toisiinsa myös rakenteen etupuolella, saadaan rakenteeseen lisää jäykkyyttä.



KUVA 28. Rakenne c:n malli

Elementti c1

Valitaan sama kuin a1 identtisen kuormituksen ja tuentojen vuoksi.

Elementti c2

Valitaan sama kuin a2 identtisen kuormituksen ja tuentojen vuoksi.

Elementti c3

Valitaan sama suorakaideputki kuin elementti c4 kokoonpantavuuden vuoksi.

Elementti c4

Määritetään elementille tarvittava vääntövastus kaavalla 21 (s. 36).

$$W_{tarv} = \frac{6730 \text{ N} \cdot 500 \text{ mm} \cdot 1,5}{215 \text{ N/mm}^2}$$

$$W_{tarv} \approx 23\,472 \text{ mm}^3$$

Valitaan 100x50x6,0, missä $W_{yy} = 35,8 \text{ cm}^3$. Kokoonpantavuuden vuoksi valitaan sama suorakaiteen muotoinen putki elementiksi c3.

Elementti c5

Elementiksi c5 valitaan sama kuin a5 identtisen kuormituksen ja tuentojen vuoksi.

Elementti c6

Valitaan sama kuin a6 identtisen kuormituksen ja tuentojen vuoksi.

Elementti c7

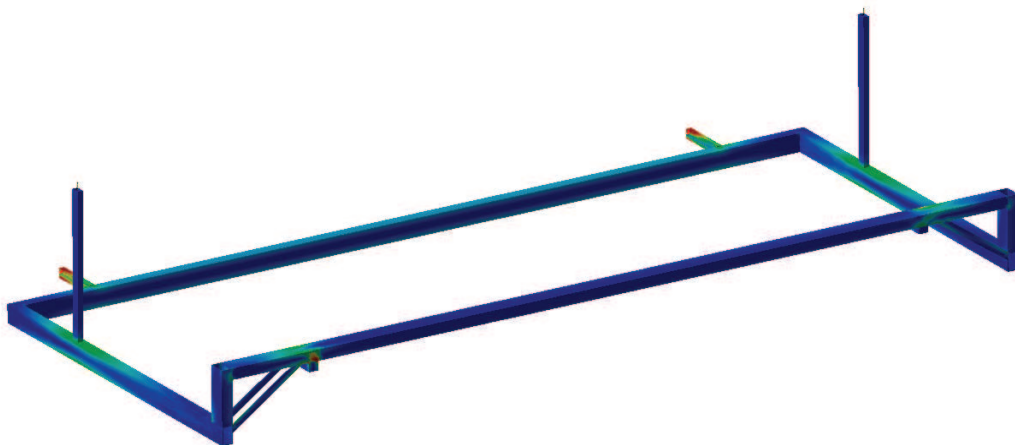
Tukilevyjen on oltava tarpeeksi leveitä, jotta ne kestävät niihin kohdistuvan rasituksen. Tukilevyjen tarvittava leveys voidaan määrittää kaavalla 29 (s. 40).

$$c = \frac{\sin 45^\circ \cdot 6730 \text{ N} \cdot 500 \text{ mm} \cdot 5}{200 \text{ mm} \cdot 5 \text{ mm} \cdot 215 \text{ N/mm}^2}$$

$$c \approx 55,3 \text{ mm}$$

Valitaan tukilevyksi viisi mm paksua ja 60 mm leveää levyä.

Kuvassa 29 on esitetty esivalittujen elementtien perusteella Catia-ohjelmalla tehty analyysimalli.



KUVA 29. Catia-ohjelmalla tehty analyysimalli rakenteesta c

Taulukossa 10 on listattu rakenteeseen valitut elementit, niiden pituus ja määrä. Taulukossa on myös elementtien painot, sekä rakenteen kokonaispaino.

TAULUKKO 11. Rakenteelle c elementeiksi valitut profiilit, elementtien pituudet, määrät, profiilien painot metriä kohden sekä painot. (4, s. 836 - 837)

Elementti:	Valittu profiili:	Pituus (mm):	Määrä (kpl):	Paino (kg/m):	Paino (kg):
c1	50x30x4,0	800	2	4,2	6,7
c2	100x60x5,0	2000	2	11,3	45,2
c3	100x50x6,0	300	2	12,3	7,4
c4	100x50x6,0	1950	2	12,3	48,0
c5	100x80x5,0	1940	1	12,8	24,8
c6	80x60x5,0	300	2	9,7	5,8
c7	5x60	424,3	4	2,3	3,9
Koko rakenteen paino (kg):					141,8
Rakenteen maksimijousto 31 400 N kuormituksella (mm):					18,2

Rakennevaihtoehdoille suoritettiin luvussa 3.4. esitetty vertailu. Rakenteita vertailtiin niiden painon, valmistuksen haasteellisuuden ja jäykkyyden suhteen. Valmistamisen haasteellisuus korreloituu hitsausliitosten määrän kanssa. Jäykkyydvertailuarvona käytetään Catia-ohjelmalla lasketun analyysimallin maksimi-siirtymää. Massat on laskettu edellä taulukkoihin 9, 10 ja 11 profiilien taulukko-arvojen mukaan. Rakennevaihtoehtojen vertailuarvot on laskettu taulukkoon 12.

TAULUKKO 12. Rakennevaihtoehtojen vertailukertoimen laskenta kaavalla 4

Runko konstruktio	Massa (kg):	Max. Siirtymä CATIA - analyysissä (mm):	Hitsausliitosten lukumäärä (kpl):	Kaavalla 4 las- kettu vertailu- kerroin:
a	121,7	3,2	14	281
b	103	6,7	50	326,1
c	141,8	18,2	14	366,2

Jatkokehitystä varten valittiin runkorakennevaihtoehto a sen kertoimen pienyyden perusteella.

4 TOIMILAITTEIDEN VALINTA

Toimilaitteet on valittu luvussa 3.3. Tässä luvussa valitaan koneen toimintaan tarvittavat toimilaitteet sekä suunnitellaan niiden kiinnitys. Toimilaitteet mitoitettiin ja valittiin koneen vakioetenemisnopeuden mukaan. Toimilaitteiden kiinnityksille tehtiin lujuusanalyysit niiden kestävyysvarmistamiseksi.

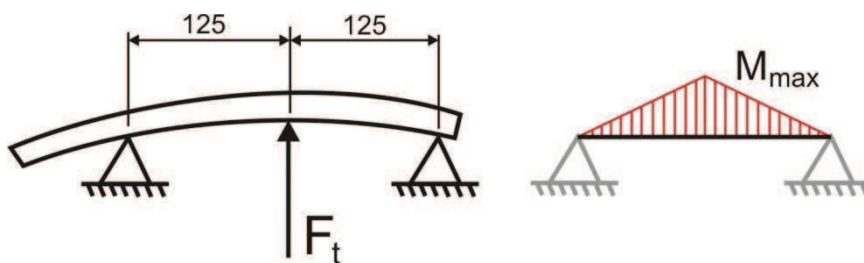
4.1 Toimilaitteiden kiinnityksien suunnittelu

4.1.1 Pyörien ripustus

Luvussa 3.3. valittiin rungon kannattamiseen renkaat. Takarenkaat eivät ole ohjaavat, joten ne voidaan suoraan kiinnittää runkoon laakereilla. Takarenkaat ovat vetävät renkaat ja niiden pyörittämiseen valittiin sähkömoottori. Runkoa muutettiin pyörien tuennan osalta siten, että pyörien kiinnityslaakerit tulevat molemmiin puolin rengasta. Tukien väli on 250 mm. Pyörän kannatukseen valittiin laakeriyksiköt, sisältäen laakerin ja laakeripesän. Laakeriyksiköt tulevat pulteilla kiinni.

Akseliin syntyy vääntöjännitystä vain tuennan ja voimien yhteydessä. Tak akselin rakenne suunniteltiin toteutettavaksi siten, että umpiakseli on vain renkaiden tuennassa ja renkaiden akseli yhdistetään pultilla kiinnitettävällä putkella painon säästämiseksi.

Takapään akselin tarvittava paksuus laskettiin seuraavasti. Kuvassa 30 on esitetty laskentamalli ja kuormitus.



KUVA 30. Takapään ripustuksen laskentamalli

Lasketaan tarvittava vääntövastus kaavalla 31 (s. 41) merkitsemällä momentti voima kertaa voiman varreksi. Akselin materiaaliksi oletettiin S335, jossa alemmimpiyötaraja on 315 MPa.

Sijoittamalla arvot kaavaan 31 voidaan laskea tarvittava vääntövastus akselille.

$$W_{tarv.} = \frac{8\,970\,N \cdot 125,0\,mm \cdot 1,5}{335\,N/mm^2}$$

$$W_{tarv.} \approx 5\,020,5\,mm^3$$

Ympyräpoikkipintaisen kappaleen neliövastus voidaan laskea kaavalla 48 (4, s. 473).

$$W_{ympyrä} = \frac{\pi d^3}{32} \quad \text{KAAVA 48}$$

$W_{ympyrä}$ = ympyräpoikkipintaisen kappaleen taivutusvastus (mm³)

d = halkaisijamitta (mm)

Ympyräpoikkipintaisen kappaleen neliövastuksen kaava voidaan johtaa muotoon, jolla lasketaan tarvittava halkaisijamitta ympyrälle.

$$d_{tarv} = \sqrt[3]{\frac{W \cdot 32}{\pi}}$$

Nyt voidaan laskea tarvittava halkaisija mitta akselille.

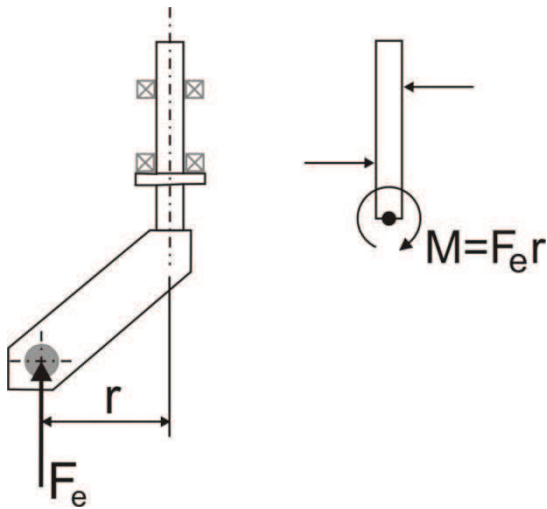
$$d_{tarv} = \sqrt[3]{\frac{5\,020,5\,mm^3 \cdot 32}{\pi}}$$

$$d_{tarv} \approx 37,2\,mm$$

Tarvittavaksi halkaisijaksi takapään akselille saatiin 37,2 mm. Akseliksi valitaan 40 mm halkaisijaltaan oleva pyörötanko.

Etupään renkaat suunniteltiin kääntyviksi. Renkaille tuli suunnitella tuenta. Koska renkaat ovat vapaasti maton mukaan ohjautuvat, niiden kääntymisen rauhoittamiseksi valittiin renkaiden akselin ja tuennan välille 150 mm etäisyys. Kuvas-

sa 31 tätä etäisyyttä on merkitty merkinnällä r . Tämän kaltaista ohjauskulmakennettä käytetään moottoripyörissä ohjauksen rauhoittamiseen.



KUVA 31. Etupään ripustuksen laskentamalli

Etupään tuenta-akselille tarvittava halkaisijamitta määritettiin samalla tavoin kuin edellä laskettu taka-askelille tarvittava halkaisijamitta.

$$W_{tarv.} = \frac{6\,730\, \text{N} \cdot 150,0\, \text{mm} \cdot 1,5}{335\, \text{N/mm}^2}$$

$$W_{tarv.} \approx 4\,520\, \text{mm}^3$$

Tarvittavaksi halkaisijamitaksi etupään tuenta-akselille saatiin seuraava.

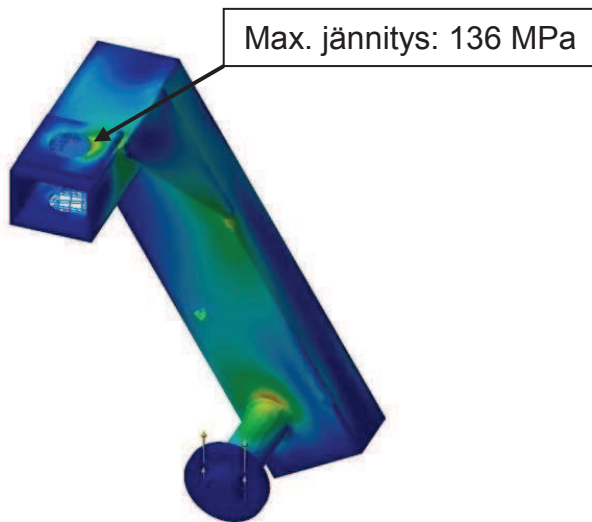
$$d_{tarv} = \sqrt[3]{\frac{4\,520\, \text{mm}^3 \cdot 32}{\pi}}$$

$$d_{tarv} \approx 35,8\, \text{mm}$$

Etupään tuenta-akseliksi valittiin halkaisijamitaltaan 40 mm oleva tanko.

Etupyörien ripustukseen suunniteltiin rakenne, jolla saadaan renkaiden pyörimis- ja kääntymisakselien välille 150 mm etäisyys. Rakenne suunniteltiin valmistettavaksi suorakaiteen muotoisesta rakenneputkesta, kuten muukin runko laitteessa. Putkipalkkien tarvittava kokoluokka esilaskettiin kuten luvussa 3.4. Esivalinnan jälkeen ripustukselle tehtiin Catia-ohjelmistolla lujuusanalyysi. En-

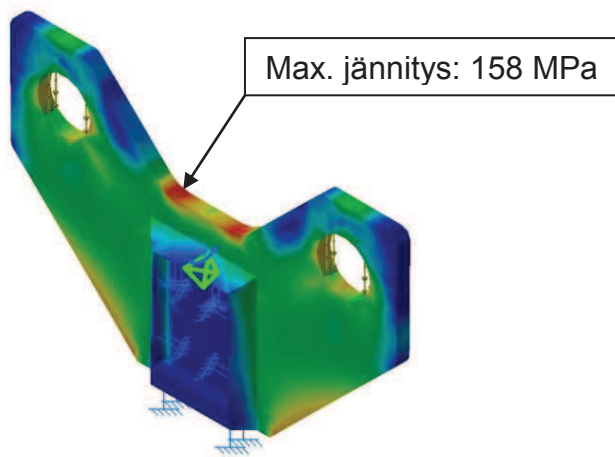
simmäisen lujuusanalyysin perusteella tehtiin tarvittuja muutoksia rakenteeseen. Lopullinen jännitysten jakautuminen on esitetty kuvassa 32. Laitteen renkaiksi on valittu peräkärryn renkaat, joille on saatavissa valmiita napoja. Lujuuslaskentamallissa ne on huomioitu mallintamalla ne rakenteeseen mukaan. Laskentamallissa jännitykset pysyivät sallituissa rajoissa.



KUVA 32. Etupään ripustuksen jännitysten jakautuminen laskettuna Catia-ohjelmistolla

4.1.2 Mattorullan sisäputken kannatinlaakerien tuentalevy

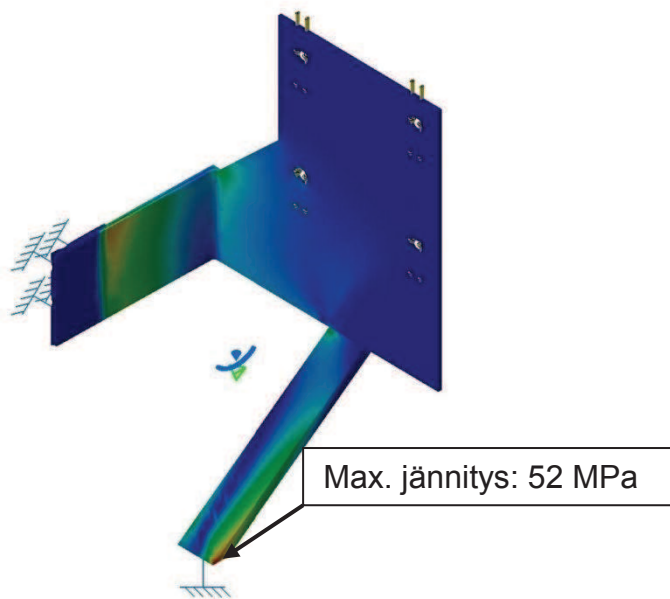
Luvussa 3.3. mattorullan sisäputken kannatukseen valittiin laakeripeti. Rakenteeksi valittiin yksinkertainen levyrakenne. Laakerit suunniteltiin kiinnitettäväksi tukilevyyn pulteilla, joilla estetään laakerien liikkuminen. Tarvittavaksi levyn vahvuudeksi saatiin laskennan perusteella 5 mm.



KUVA 33. Mattorullan sisäputken kannatin laakerien tuentalevyn lujuusanalyysin tulos

4.1.3 Mattorullan sisäputken voimansiirron ja moottorin kiinnitys

Mattorullan voimansiirroksi valittiin vaihde ja voiman lähteeksi sähkömoottori. Voiman siirron ja moottorin kiinnitystä suunniteltaessa oletettiin, että moottori voidaan kiinnittää suoraan vaihteeseen. Kiinnitys esisuunniteltiin ja tarkistettiin, kun käyttölaitteet valittiin. Rakenteeksi valittiin mahdollisimman yksinkertainen ja helposti toteutettava levyrakenne. Tuennalle tehtiin lujuusanalyysi Catia-ohjelmistolla ja rakenteeseen syntyneiden jännitysten todettiin pysyvän sallituissa rajoissa. Jännitysten jakautuminen ja rakenne on esitetty kuvassa 34.



KUVA 34. Mattorullan pyöriksen voimansiirron ja moottorin kiinnittimen runko. Suurin syntynyt pintajännitys 52 MPa syntyi tukipalkkiin noin 80 kg kuormituksella vaihteen kiinnitysreikiin.

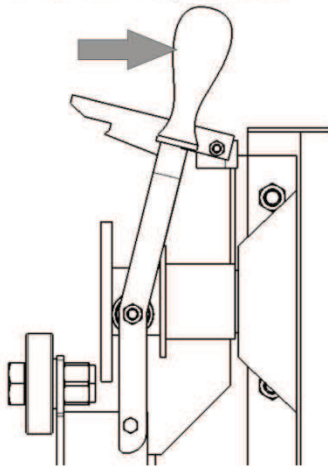
4.1.4 Mattorullan pyöriksen voimansiirto

Mekanismi

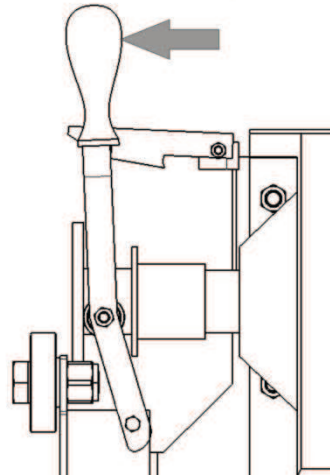
Mattorullan pyöriksen ja jarrutuksen voimansiirtojen on oltava kiinnitettävissä ja irrotettavissa mattorullan sisäputkesta. Kiinnitys ja irrotus on mahdollistettava, sillä mattorulla on voitava nostaa pois ja paikoilleen. Tällöin vetoakselien kiinni oleminen estäisi sisäputken liikuttamisen. Vetoakselin täytyy olla vapautettava myös siksi, että moottoria ja vaihteistoa on turha pyörittää mukana mattorulla purkaessa.

Vedon vapautus- ja kytkentämekanismien ratkaisuvaihtoehtoiksi mietittiin useita erilaisia vaihtoehtoja. Vedon lukitus- ja vapautusmekanismiksi valittiin kuvan 35 mukainen luistimekanismi. Ratkaisuvaihtoehtoista hylättiin erilaiset vipu- ja taittomekanismit vaihteen painon vuoksi. Luistimekanismin hyviä puolia on sen rakenteen keveys ja valmistuksen helppous.

Vedon vapautus:



Vedon lukitus:

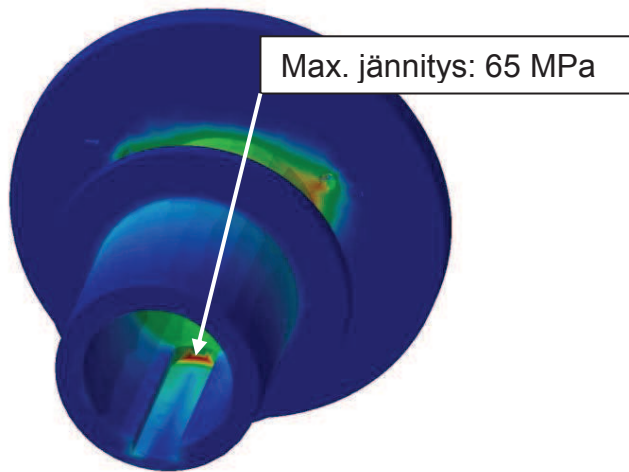


KUVA 35. Vedon lukitus- ja vapautusmekanismin rakenne ja toiminta

Vedon lukitus- ja vapautuskytkinmekanismi toimii siten, että vipua työntämällä voidaan vaihtaa luistin asemaa. Vipua painaa vetoakselin mattorullan sisäputkea vasten. Vivulla on kaksi lukittavaa asentoa: veto päällä ja veto poissa. Se sisältää laakerit, jotka vähentävät kitkaa akselin pyöriessä vipua vasten. Vetoakselille ei ole erillistä kannatusta vetopuolella, sillä sitä käytettäessä se kiinnittyy mattorullan sisäputkeen, joka kannattaa akselia.

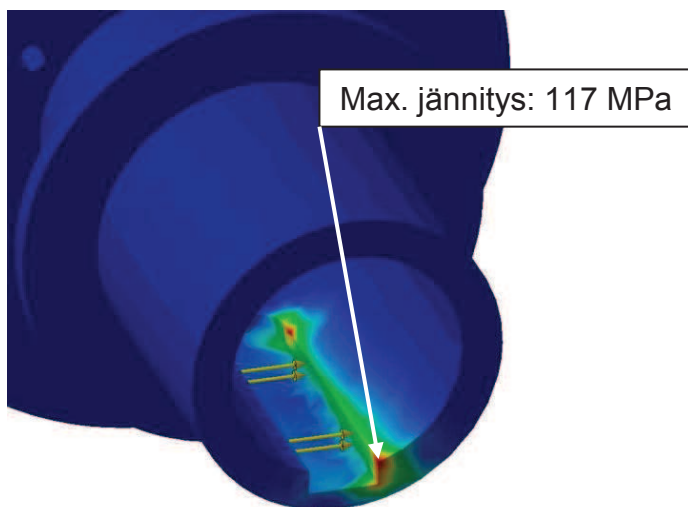
Lujuustarkastelu

Vetoakselille tehtiin lujuusanalyysi Catia V5 -ohjelmalla. Vetoakselin muoto määräytyi vaihteen akselin ja vedon lukitukseen ja vapautukseen tarvittavien laippojen mukaan. Lujuustarkastelussa käytettiin tarvittavaa maksimimomenttia 290 Nm, joka määräytyy luvussa 4.2.



KUVA 36. Pyöritysakselin lujuustarkastelu maksimivääntömomentilla 290 Nm. Suurin syntynyt pintajännitys 65 Mpa.

Vetoakselille tehtiin lujuustarkastelu myös kiilauran kestävyyskannalta. Kii-
lauraan syntyviä jännityksiä tarkasteltiin myös maksimiväännön kuormituksella.



KUVA 37. Pyöritysakselin lujuustarkastelu kiilauran suhteen. Suurin syntynyt pintajännitys 117 MPa.

4.2 Liitokset

Ruuviliitokset

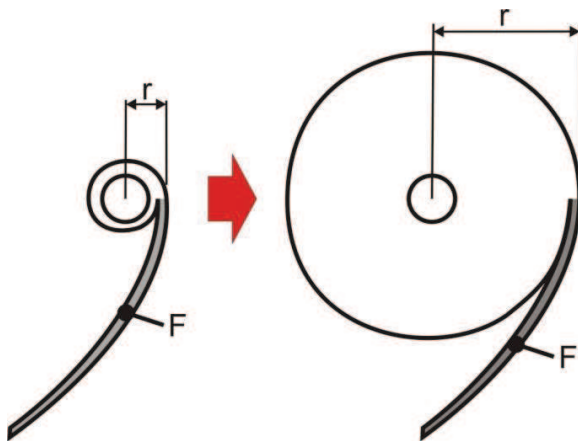
Ruuviliitosten koko valittiin valittujen toimilaitteiden kiinnitysreikien mukaan. Kiinnitysruuveiksi valittiin halkaisijamitaltaan suurin mahdollinen ruuvi, jolla toimilaite voidaan kiinnittää. Ruuviliitoksiin valittiin sopivan kokoiset mutterit. Pii-rustuksiin merkittiin ruuvien kiristysmomentit 8.8-vakioruuvien kiristysmomentin mukaan (6, s. 42).

Kiilaliitokset

Kiilojen leveys ja korkeus valittiin SFS 2636 -standardiin perustuvan taulukon mukaisesti (6, s. 96). Akseleihin mitoitettiin tarvittavat kiilaurat standardinmukaisen kiilojen mukaan.

4.3 Rullan pyöritys

Rullan pyörityksen käyttövoimaksi valittiin luvun 3.3. mukaisesti sähköiset toimilaitteet. Rullan pyörityksen voimavälitykseen valittiin ketjuvoimavälitys. Tekonurmimattorulla rullataan putken ympärille, minkä vuoksi sen pyörivä massa kasvaa kierros kierrokselta. Myös maton kehän pituus kasvaa, jolloin tasaisen rullausnopeuden saavuttamiseksi on pyörimisnopeuden laskettava. Rullan keskikilinjalle syntyy vääntömomenttia maasta nousevan maton takia. Maasta nouseva, ja tällöin irrallaan oleva matto vaikuttaa rullan kehään, jonka vuoksi rullan pyörittämiseen tarvittava vääntömomentti kasvaa rullan säteen kasvaessa. Momentin kasvu on esitetty kuvassa 38.



KUVA 38. Mattorullan säteen kasvaessa tarvittava momentti kasvaa

Pyöriksen sähköiseksi toimilaitteeksi valittiin oikosulkusähkömoottori, jota ohjataan taajuusmuuttajalla. Moottorin pyörimisnopeutta on voitava muuttaa tasaisen etenemisnopeuden vuoksi. Voiman välitykseksi valittiin ketjut, joilla saadaan helposti muutettua välityssuhdetta ilman vaihdetta.

Massalla on aina hitausmomenttia. Hitausmomentti vaikuttaa siihen, kuinka helppo kappaletta on liikuttaa. Tekonurmimattorullalla ja sen sisäputkella on hitausmomentit, jotka vastustavat pyörimisnopeuden muutosta. Pyörimisliikkeen perusyhtälö on esitetty kaavassa 49, ja siitä voidaan todeta, että tarvittava momentti kasvaa hitausmomentin ja kulmakiihtyvyyden mukaan.

Pyörimisliikkeen perusyhtälö on esitetty kaavassa 49 (4, s.212).

$$M=J\alpha$$

KAAVA 49

M = momentti (Nm)

J = hitausmomentti (kgm^2/s^2)

α = kulmakiihtyvyys (rad/s^2)

Sekä mattorullaa että sen sisäputkea voidaan pitää rengasmaisina sylintereinä laskettaessa niiden hitausmomenttia. Hitausmomentti voidaan laskea kaavalla 50 (4, s. 209)

$$J=\frac{m(R^2+r^2)}{2}$$

KAAVA 50

J = hitausmomentti (kgm^2/s^2)

m = massa (kg)

R = ulkokehänhalkaisija (m)

r = sisäkehänhalkaisija (m)

Tekonurmimaton keskiakselille massahitausmomentti kasvaa kierroksittain maton mennessä rullalle. Jotta voitaisiin laskea tarkka massahitausmomentti, on tiedettävä maton kierrosten pituus. Tekonurmimaton paksuutta ei tiedetä, eikä sitä ei voida määrittää tarkkaan, koska pehmeä kuitu painuu kasaan rullatessa. Maton hitausmomentin laskentoihin tarvitaan kuitenkin rullan kerrospaksuutta hitausmomentin kasvun tarkastelua varten. Tekonurmimaton kerroksen teoreet-

تين پاكسۇس ماتون اولسا رۇللادا ۇادان مۇررىتۇا ارىتمىئىسىن سارجان كااۋاللا (3, s.73).

$$S_n = \sum_{i=1}^n a_i = \frac{a_1 + a_n}{2} \cdot n$$

KAAVA 51

S_n = سارجان سۇمما

a_i = سارجان ەنسىممۇاىن تەرمى

a_n = سارجان n:s تەرمى

n = سارجان تەرمىن لۇكۇمۇاارا

كااۋاسا 51 سادان ۇۇدەتۇا سۇراۋان مۇتون، مىللا سادان مۇررىتۇا كەررۇسەن مۇارا ماتون اولسا رۇللادا.

$$n = \frac{2 \cdot S_n}{a_1 + a_n}$$

KAAVA 52

تەكونۇرمىماتون پىتۇۇس تىدەتۇان. لىساكى تىدەتۇان ماتون سىساپۇتكەن ۇاككاسىجا ۇا تۇيدەن مائۇرۇللان ۇكۇۇاككاسىجا. كەررۇسەن مۇارا ۇادان لاسكا كااۋاللا 51، كۇن مەركىتۇان n ، كەررۇسەن لۇكۇمۇاراكى n_k ، S_n مائۇرۇللان پىتۇۇدەكى، a_i رۇللان سىساكەكۇان پىتۇۇدەكى ۇا a_n رۇللان ۇكۇكەكۇان پىتۇۇدەكى. كااۋان 44 ۇۇدستۇمۇللۇ كەكۇان پىتۇۇدەن كااۋا 52 ۇادان لاسكا كەررۇسەن لۇكۇمۇارا ۋالىمىسا مائۇرۇللاسا (3, s.24).

$$l_{\text{kehä}} = \pi \cdot d$$

KAAVA 53

$l_{\text{kehä}}$ = كەكۇان پىتۇۇس (m)

d = ۇمپۇرۇان ۇاككاسىجا (m)

كەررۇسەن مۇارا لاسكەتۇىن سۇراۋاسى.

$$n_k = \frac{2 \cdot 52 \text{ m}}{(\pi \cdot 1,2 \text{ m}) + (\pi \cdot 0,085 \text{ m})} = 25,76$$

$n_k \approx 26$ كىررۇستا

مائۇرۇللان كەررۇسەن پاكسۇس ۇادان لاسكا ۇاكاماللا سۇتەن پىتۇۇدەن مۇۇتۇس كەررۇسەن لۇكۇمۇارۇللۇ.

$$s = \frac{r_i - r_n}{n_k}$$

KAAVA 54

s = ماتون پاكسۇس (m)

r_i = ulkokehän halkaisija (m)

r_n = sisäkehän halkaisija (m)

Täyden mattorullan säde on 0,6 metriä ja sisäputken halkaisijaksi oletetaan 85 mm. Rullatun tekonurmimaton kerroksen paksuudeksi saatiin laskemalla 21,4 mm.

$$s = \frac{0,6 \text{ m} - 0,0425 \text{ m}}{26} = 0,0214 \dots \text{m}$$

$$s \approx 21,4 \text{ mm}$$

Maton keräysnopeuden tulee olla vakio ja siksi on laskettava rullattavan maton kehänopeus. Pyörimisnopeuteen vaikuttaa kehänopeus joka muuttuu mattorullan kasvaessa. Kehän pituus voidaan laskea kaavalla 55 (3, s.24).

$$l_{\text{kehä}} = \pi d$$

KAAVA 55

$l_{\text{kehä}}$ = kehän pituus (m)

d = halkaisija (m)

Maton halkaisija kasvaa maton paksuuden verran aina kun matto on kiertynyt rullan ympärille. Pyörimisnopeus n saadaan laskettua, kun jaetaan haluttu nopeus kehän pituudella.

$$n = \frac{v}{l_{\text{kehä}}}$$

KAAVA 56

n = pyörimisnopeus (1/s)

v = nopeus (m/s)

Pyörimisen perusyhtälön 41 mukaisesti tarvitaan vääntömomenttia mattorullan pyörimisnopeuden muuttamiseen. Kulmakiihtyvyys α lasketaan kaavalla 57 (4, s. 211).

$$\alpha = \frac{\omega - \omega_0}{t}$$

KAAVA 57

α = kulmakiihtyvyys (rad/s^2)

ω = kulmanopeus (rad/s)

ω_0 = alkukulmanopeus (rad/s)

t = aika (s)

Kulmanopeus lasketaan kaavalla 58 (4, s. 210).

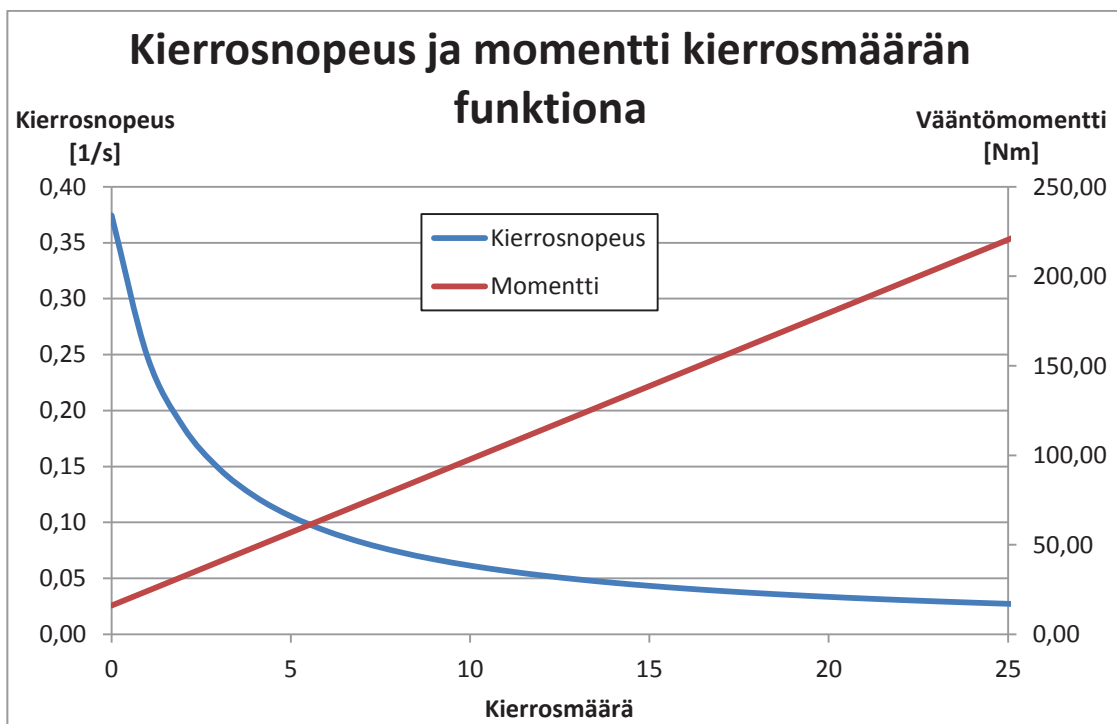
$$n=2\pi\omega$$

KAAVA 58

Tekonurmimaton oletetaan olevan ilmassa 1,2 metrin matkalta (vertaa kuva 28). Ccgrass football turf VV -tekonurmi painaa noin 8 kg/m^2 . Nostettavan maton painoksi saadaan noin 40 kg. Maton aiheuttama vääntömomentti rullan keskilinjalle voidaan laskea kaavan 16 mukaisesti.

$$M=Fr$$

Edellä mainituilla kaavoilla on laskettu rullan kierrosnopeus ja sille tarvittava vääntömomentti on esitetty kuvassa 39. Vääntömomentissa on huomioitu masahitauksmomenttien aiheuttama vääntömomentti sekä maton nostosta aiheutuva vääntömomentti. Laskennat tehtiin vakioetenemisnopeudelle 0,1 m/s, jolloin yhden 50 metriä pitkän mattorullan keräykseen kuluu aikaa noin 8,5 min. Käynnistyksessä oletetaan pyörimisnopeuden kiihtyvän maksimiin 0,5 sekunnissa.



KUVA 39. Mattorullan kierrosnopeus ja sen akselille tarvittava vääntömomentti kierrosnopeuden funktiona vakioetenemisnopeudella 0,1 m/s

4.3.1 Tehonsiirto

Tehonsiirroksi valittiin hammasvaihteisto. Mattorullan pyörytykseen tarvittava vääntömomentti on maksimissaan 229 Nm, ja nopeus muuttuu yli 12-kertaiseksi alkupyörimisnopeuteen verrattaessa. Sähkömoottorien pyörimisnopeus on esimerkiksi 4-napaisella sähkömoottorilla noin 300 ... 3 000 1/min. Mattorullan pyörytykseen tarvittava kierrosnopeus on taas noin 24 1/min. Välityssuhteella voidaan muuttaa ensiöakselin ja toisioakselin pyörimisnopeutta, eli tässä tapauksessa moottorin ja mattorullan pyörimisnopeuksia. Välityssuhteen nostolla voidaan lisäksi pienentää momenttia.

Tarvittava välityssuhde voidaan laskea, kun tiedetään tarvittava keskimääräinen pyörimisnopeus toisioakselille ja moottorin keskimääräinen pyörimisnopeus. Moottoriksi valittiin pienellä synkroninopeudella pyörivä moottori, jotta välityssuhde pysyisi mahdollisimman pienenä. Moottoriksi esivalitaan kappaleessa kuusinaapainen moottori, joka pyörii synkroninopeudella noin 1 000 1/min. Mattorullan pyörytykseen tarvittava keskimääräinen pyörimisnopeus on 4,81 1/min. Tarvittava välityssuhde i laskettiin kaavalla 59.

$$i = \frac{n_{\text{ensiö}}}{n_{\text{toisio}}}$$

KAAVA 59

i = välityssuhde (n:1)

$n_{\text{ensiö}}$ = ensiöakselin pyörimisnopeus (1/min)

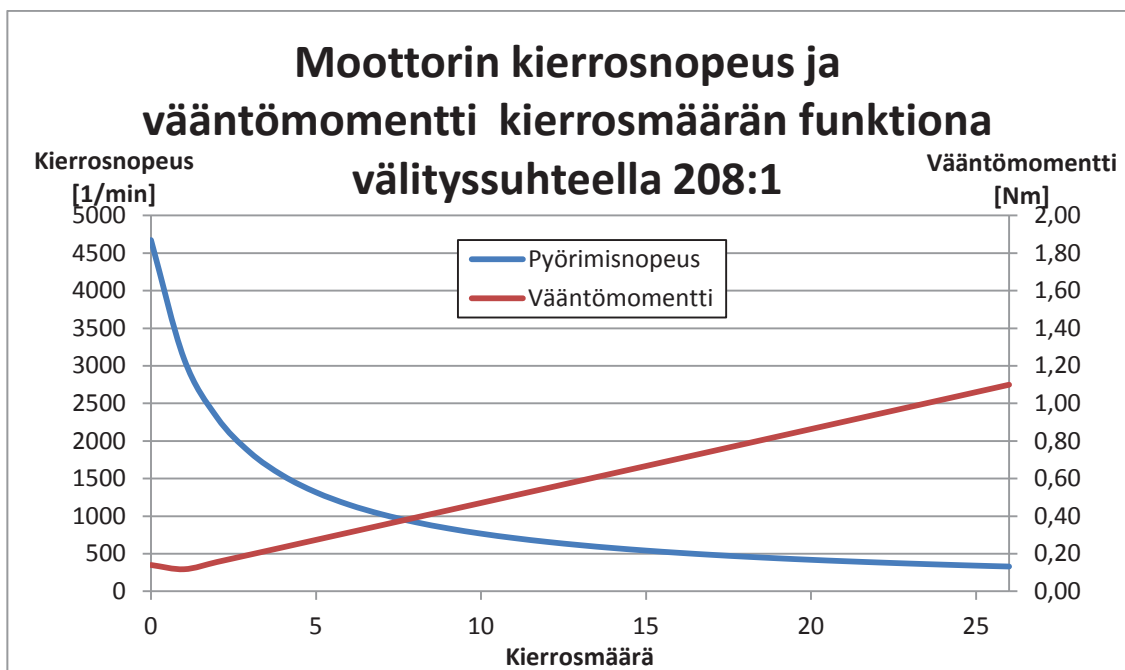
n_{toisio} = toisioakselin pyörimisnopeus (1/min)

Sijoittamalla tarvittavat pyörimisnopeudet kaavaan laskettiin tarvittava välityssuhde.

$$i = \frac{1\,000\,1/\text{min}}{4,812\,1/\text{min}}$$

$$i = 207,8:1$$

Kuvassa 40 on esitetty tarvittava moottorilta tarvittava kierrosnopeus sekä vääntömomentti kun välityssuhde on 208:1.



KUVA 40. Moottorilta tarvittava vääntömomentti ja kierrosnopeus kierrosmäärän funktiona välityssuhteella 208:1

Vaihteeksi valitaan kulmavaihte, jolloin toisioakseli voidaan asentaa suoraan pyöritettävälle akselille ja moottori saadaan rungon myötäisesti. Kulmavaihte valittiin sen välityssuhteen perusteella SEW-Eurodrive Oy:n tuotevalikoimasta. Kulmavaihteeksi valittiin S-sarjan kulmavaihte S77 AM80 välityssuhteella 214,00:1 (3, s.426). Kotelointiluokaksi valitaan C1, joka soveltuu sisätiloihin (7, s.15). Hyötysuhde valitulla vaihteella on 97 % (7, s.45).

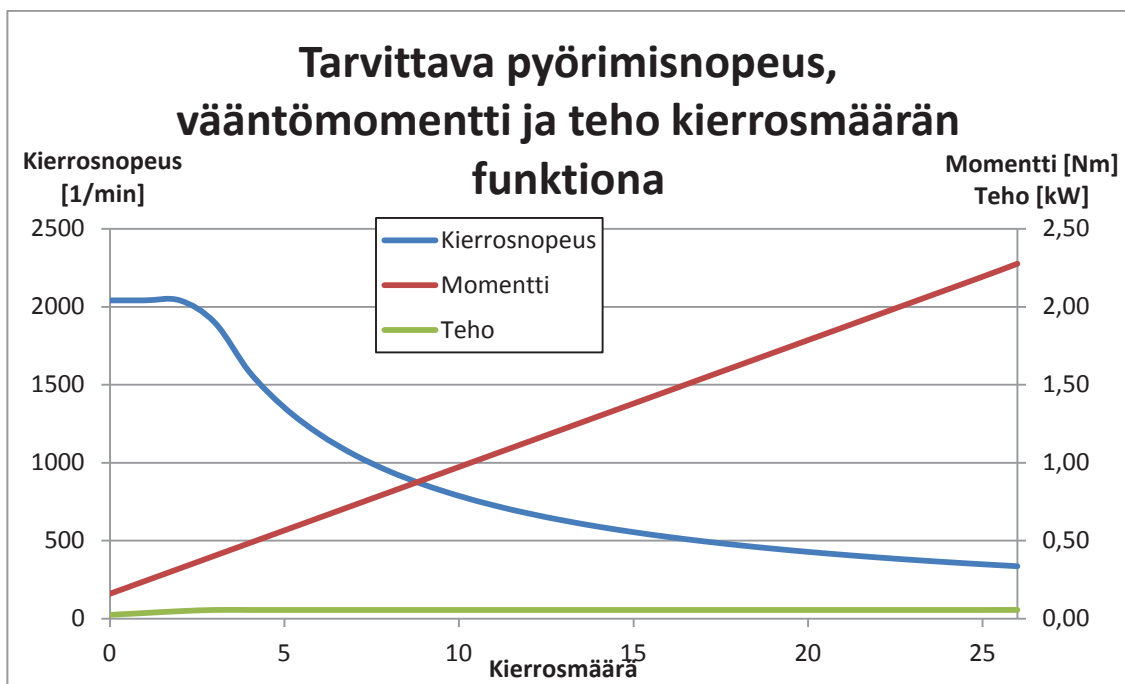
Sivuttaisvoimat eivät vaikuta vaihteen akseliin ja vaihteen käyttötuntimäärät ovat hyvin pieniä. Tämän vuoksi vaihteisto voidaan lähes huoltovapaaksi.

4.3.2 Moottorin valinta

Voimalähteeksi valittiin luvussa 3.3. sähkömoottori. Kierrosnopeuksien vaihtelun vuoksi päätettiin valita oikosulkumoottori, jonka kierrosnopeutta ohjataan taajuusmuuttajalla. Sähkömoottorin valinnassa tulee ottaa huomioon syöttävän sähköverkon taajuus, jännite ja kuormitettavuus (8, s. 8). Lisäksi prosessista on selvitettävä kuormitettavuuden tyyppi, etenkin käynnistysmomentin osalta (8, s.7). Lisäksi on tarkasteltava moottorin kuormitusta, jotta termistä ylikuormitettavuutta ei ylitetä (8, s.7).

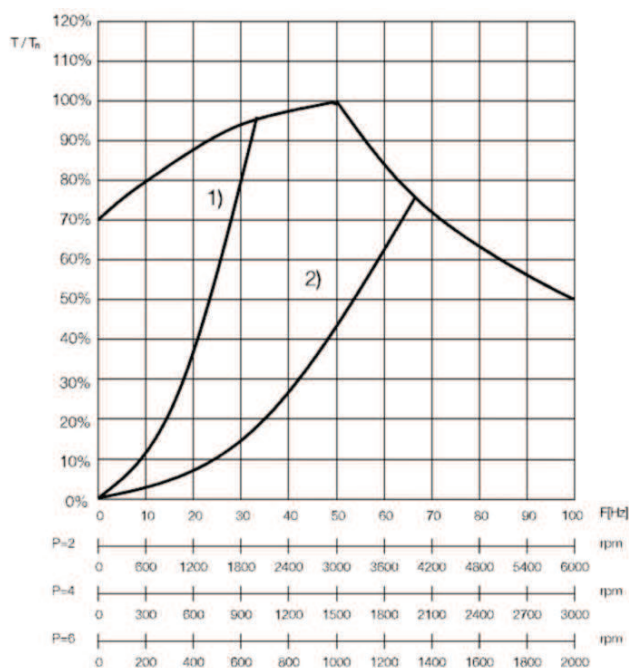
Tekonurmimaton purku- ja rullauslaite suunnitellaan käytettäväksi urheiluhalleissa, joihin on asennettu tekonurmimatto. Purettavat tekonurmimatot sijaitsevat yleensä sisätiloissa, joten moottori ei tarvitse suojata roiskevedeltä. Tekonurmimatosta irtoaa sen käytön ja rullauksen aikana nukkaa ja siihen käytön aikana kerääntynyttä pölyä. Suojausluokitukseksi valitaan pölysuojainen moottori. IEC144 standardin mukainen kotelointiluokka pölysuojaiselle moottorille on IC54 (9). Sovitelmaksi valitaan IM B5, jossa moottori kiinnitetään akselin päässä olevasta laipasta. Saatavilla olevaksi sähköverkoksi oletetaan verkkojännitteeltään 380 V...690 V oleva ja taajuudeltaan 50 Hz.

Moottorin kuormitus on vakiotehotypinen. Momentin kasvaessa tarvittava pyörimisnopeus laskee, mistä seuraa vakioteho. Moottoriksi esivalittiin luvussa 4.2.2 kuusinapainen moottori, joka pyörii 1 000 1/min 50 Hz:n taajuudella. Moottoria voidaan ohjata taajuusmuuttajalla taajuudella 0 Hz ... 100 Hz. Taajuusalueella moottorin pyörimisnopeudeksi saadaan 0 1/min ... 2 000 1/min. Tarvittava pyörimisnopeusalue oli laajempi kuin sähkömoottori-taajuusmuuttaja - yhdistelmältä saatava, joten ensimmäisten kierrosten pyörimisnopeus päätettiin rajoittaa 2 000 1/min. Tarvittavaksi vakiotehoksi saatiin 0,06 kW vakioetenemisnopeudella 0,1 m/s. Momenttiin vaikuttaa vaihteiston ja rullan pyörimisen häviöt. Vaihteen häviö on 97 % ja mattorullan pyörimisen häviöksi oletettiin 50 %. Häviö voitiin olettaa suureksi, sillä tarvittava momentti on pieni ja suurella häviöllä saadaan pieni varmuuskerroin toiminnalle.



KUVA 41. Ensioakselille tarvittava pyörimisnopeus, vääntömomentti ja teho kierrosmäärän funktiona

Moottorin valinnassa tulee ottaa huomioon myös sen kuormitettavuus eri taajuuksalueilla. Kuvassa 42 on esitetty oikosulkumoottorin tyypillinen kuormitettavuuskäyrä. Tekonurmimattorullan pyöriytykseen tarvittava momentti kasvaa lähes lineaarisesti pyörimisnopeuden pienentyessä.



KUVA 42. Tyypillinen moottorin kuormitettavuuskäyrä (8, s.25)

Taulukossa 13 on laskettu aloitukseen ja lopetukseen tarvittava vääntömomentti moottorin kuormitettavuus huomioon otuna.

TAULUKKO 13. Tarvittava moottorin momentti mitoitusasteissa

	Tarvittava momentti: [Nm]	Kierrosnopeus mitoituspisteessä: [1/min]	Kuormitettavuus taulukosta saatava kuormitettavuuskerroin:	Moottorin mitoitusmomentti: [Nm]
Käynnistys:	0,16	-	1,5	0,11
max. Kierrosalue:	0,32	2 000,0	0,5	0,64
min. kierrosalue	2,30	335,0	0,85	2,71

Moottori valitaan mitoitusasteista vaativimman perusteella. Minimikierrosalueella kuormitettavuuskerroin on 0,85, joten moottorin mitoitusmomentiksi saadaan 2,71 Nm. Moottoriksi valitaan kuusinapainen valurautarunkoinen oikosulkumoottori ABB:n M2QA 80M6A 3GQA, missä $M_N = 3,8 M_n$ (10, s.124). Moottorin tilauskoodissa on määritelty moottorin tilaukseen tarvittavat tiedot. Moottorin käyttöverkoksi oletetaan taajuudeltaan 50 Hz ja jännitteeltään 380 V...420 V. Sovitteeksi valitaan laippakiinnitteinen kiinnitys suurella laipalla.

Moottorin tuotekoodiksi saadaan edellä mainituilla tiedoilla: M2QA 80M6A 3GQA 083 301 – BD. Moottorin teho on 0,37 kW. Suojausluokka on IP55, mikä on parempi kuin tarvittava.

4.3.3 Taajuusmuuttajan valinta

Oikosulkumoottorin pyörimisnopeuden ohjaamiseen tarvitaan taajuusmuuttajaa. Taajuusmuuttajaksi tuli valita taajuusmuuttaja, joka on ohjelmoitavissa vastaamaan tarvittavia kierrosnopeuksia. Taajuusmuuttajalla tuli lisäksi valita ulkoisen ohjauspaneelin valinta laitteen ohjauksen helpottamisen vuoksi. Taajuusmuuttaja voidaan valita suoraan moottorin tehon mukaan, sillä moottoria ei ylikuormiteta käytön aikana.

Taajuusmuuttajaksi valitaan ABB:n ACS355, joka on suunniteltu konerakennuksen sovelluksiin (11). Taajuusmuuttajan koko voidaan valita suoraan moottorin tehon mukaan. Taajuusmuuttajan valinnassa tuli lisäksi huomioida käytettävä

sähköverkko. Sähköverkoksi oletetaan 3-vaiheinen, taajuudeltaan 50 Hz:n ja jännitteeltään 380 V...420 V. Taajuusmuuttajaksi valittiin ACS355 – 03E – 02A4 – 2 (12, s.7).

Taajuusmuuttajaan valittiin myös ulkoinen ohjauspaneeli, joka sallii ohjauspaneelin sijoittamisen eri paikkaan kuin taajuusmuuttaja. Taajuusmuuttajaan valittiin ohjauspaneeliksi *Assistant*-ohjauspaneeli, mikä helpottaa ohjelmoitujen sekvenssien ajoa (12, s.14). Paneelin kotelon asennussarjaksi valittiin *OPMP-01*. Taajuusmuuttajaan voidaan ohjelmoida parametriasetukset *DriveWindows Light* -ohjelmalla (12, s.17).

Mattorullan pyörimisen moottorin ohjaukseen valittiin taajuusmuuttaja edellä mainituilla tiedoilla: ACS355 - 03E - 02A4 – 2 + J400 + OPMP-01.

4.4 Laitteen ajomoottori

Laitteen ajomoottoriksi valittiin kappaleessa 3.3. sähkömoottori. Moottorin ohjaukselta vaaditaan kaksisuuntaisuutta, jotta laitetta voidaan ajaa eteen- ja taaksepäin kytkintä vaihtamalla. Vetävien renkaiden akselille tarvittava vääntömomentti voidaan laskea, kun tiedetään haluttu pyörimisnopeus ja liikuteltava massa. Laitteen ajonopeudeksi määriteltiin 0,5 m/s, johon laiteen on kiihdyttävä yhden sekunnin aikana. Laskemalla kiihtyvyys edellä mainituilla arvoilla saadaan tulokseksi $0,5 \text{ m/s}^2$. Laitteen kokonaismassaksi arvioitiin 2000 kg täydessä kuormassa. Laskennallinen renkaiden halkaisija on 0,33 m, jolloin tarvittavaksi pyörimisnopeudeksi edellä mainitulle etenemisnopeudelle saadaan noin 0,5 1/s.

Voiman perusyhtälöllä voidaan määrittää kiihdyttämiseen tarvittava voima (kaava 60).

$$F=ma \quad \text{KAAVA 60}$$

F = voima (N)

m = massa (kg)

a = kiihtyvyys (m/s^2)

Etenemisliikkeen teho voidaan laskea kaavalla 61.

$$P_e=Fv \quad \text{KAAVA 61}$$

P_e = etenemisliikkeen teho (W)

F = voima (N)

v = nopeus (m/s)

Pyörimisliikkeen teho voidaan laskea kaavalla 62.

$$P_p = M\omega$$

KAAVA 62

P_p = pyörimisliikkeen teho (W)

M = momentti (Nm)

ω = kulmanopeus (rad/s)

Suoraviivaisen etenemisliikkeen voidaan olettaa johtuvan renkaiden pyörimisliikkeestä. Kun merkitään kaavat 61 ja 62 yhtä suuriksi ja voima F voiman perusyhtälön ratkaisulla, voidaan johtaa lauseke tarvittavalle momentille.

$$M = \frac{mav}{\omega}$$

KAAVA 63

Vetävien renkaiden akselille tarvittava vääntömomentti voidaan laskea nyt, kun huomioidaan kaavaan 63 renkaiden vierintäkitka sekä mahdolliset laakerikitkat. Kitkakertoimet on merkitty η :ksi. Laakerikitka oletetaan olevan 0,9 ja vierintäkitka 0,5. Vierintäkitkakaan vaikuttaa tämän laitteen tapauksessa eniten pehmeä alusta.

$$M_{tarv} = \frac{mav\eta}{\omega} = \frac{2\,000\,kg \cdot 0,5\,m/s^2 \cdot 0,5\,m/s \cdot 0,45}{2 \cdot \pi \cdot 0,5\,1/s}$$

$$M_{tarv} \approx 71,6\,Nm$$

4.4.1 Tehonsiirto

Luvussa 3.3. valittiin tehonsiirroksi ratasvälitys. Ratasvälityksen lisäksi voimavälitykseen valitaan ketju-ketjupyörävälitys. Ketju-ketjupyörävälitys valitaan, koska voimaa ei voi suoraan välittää vaihteen toisioakselilta pyöritettävälle akselille, vaan se vaatii esimerkiksi ketju-ketjupyörä tai hammasratasvälityksen. Laitteeseen valittiin ketju-ratasvälitys, koska se sallii suuremmat mitta- ja käyttövälietumat käyttävän ja käytettävän akselin välillä.

Tarvittava välityssuhde voidaan määrittää kaavalla 51, kun esivalitaan kuusisnapainen oikosulkumoottori, jonka synkroninopeus on 1 000 1/min.

$$i_{ajo_tarv} = \frac{1\,000\,1/min}{30\,1/min}$$

$$i_{ajo_tarv} \approx 33,3 : 1$$

Vaihteeksi valittiin tarvittavan välityssuhteen perusteella SEW-Eurodrive Oy:n R-sarjan vaihde R27 AM71 välityssuhteella 32,47:1 (7, s. 137). Hyötysuhde vaihteella on 96 % (7, s. 45).

Vaihteen toisioakselin halkaisija on 25 mm ja akselissa on SFS 2636 -standardiin sopiva kiilaura. Käytettävän akselin halkaisija on 40 mm ja siihen koneistetaan SFS 2636 -standardin mukainen kiilaura. Rullaketjun jaoks pyrittiin valitsemaan mahdollisimman pieni jako, sillä välitettävät voimat eivät ole suuria. Täten voidaan valita pieni ketju. Veto saadaan lisäksi tasaisemmaksi pienellä jaolla olevalla rullaketjulla (13, s. 8).

Käytettävän akselin ketjupyöräksi valitaan SKS Oy:n ketjupyörät ja tarvikkeet -katalogista ketjupyörä SH58/40. Ketjupyörä on 15,875 mm jaolla olevalle rullaketjulle ja sen hammasluku on 18. Käytettävän akselin ketjupyöräksi valittiin SH58-15/25, jossa hammasluku on 15. Ketjuksi valittiin DIN 8187 -standardin mukainen rullaketju 500, jossa jako on 15,875 (13, s. 11). Rullaketjun tarvittava pituus on 762 mm.

4.4.2 Moottorin valinta

Moottoriksi valittiin kappaleessa 3.3. sähkömoottori. Sähkömoottoriksi valitaan oikosulkumoottori kuten luvussa 4.2.3. Välityssuhde huomioiden moottorilta tarvittava vääntömomentti on 2,2 Nm. Valitaan vääntömomentin perusteella kuusisnapainen M2QA 71M6B 3GQA 073 302-BDA -oikosulkumoottori.

Ajomoottoria käytetään vain rungon liikuttamiseen, joten siihen ei vaadita nopeusohjausta. Ajomoottorin käyttöön ei valittu taajuusmuuttajaa, vaan sen käyttökytkin kytketään suoraan verkkoon. Mahdolliseksi taajuusmuuttajaksi voitaisiin valita sama taajuusmuuttaja kuin luvussa 4.2.4. Assistant -ohjauspaneelin sijas-

ta voitaisiin valita potentiometri-ohjauspaneeli, jolla voitaisiin käsin säätää moottorilta tarvittava kierrosnopeus.

4.5 Jarrujen valinta

Luvussa 3.3. valittiin vaatimuslistan mukaisesti liikettä hidastavat mekanismit mattorullan pyörimiseen ja rungon liikkeeseen. Käyttövoimaksi valittiin käsivoima, voiman välitykseksi hydraulikka ja mekaniikaksi levyjarru.

4.5.1 Mattorullan jarrut

Mattorullan pyörimyksen hidastamiseen valittiin levyjarru kappaleessa 3.3. Mattorullan jarrutukseen valittiin Righetti Ridolfin valmistamat kart-auton jarrut. Valitut jarrut on suunniteltu kilpakäyttöön ja ne ovat yhteensopivat tai vastaavat toisten valmistajien vastaavia osia. Jarrujärjestelmään valittiin pääjarrusylinteri, jarrusatula, jarrulevy ja jarrulevyn keskiö. Jarrut toimivat hydraulisesti, joten pääjarrusylinteri on yhdistettävä jarrusatulaan hydraulisletkulla. Hydraulisletkuksi käy mikä tahansa jarruihin sopiva jarrunesteen kestävä letku.

Mattorullaa on voitava jarruttaa sitä auki purkaessa. Jarrutusliikkeen on oltava tasainen, jotta rakenteeseen ei synny ylimääräisiä rasituksia. Mattorulla jarrutuksen voiman käyttökseen valittiin käsivoima luvussa 3.3. Jarrun käyttömekanismi viedään operaattorin tasolle.

Valittujen jarrunosien nimikkeet ovat seuraavat:

- pääjarrusylinteri: K225-N (14)
- jarrusatula: K897N (15)
- jarrulevy: K238GS-200 (16)
- keskiö: K606DG (17).

4.5.2 Rungon jarrut

Rungon jarrujärjestelmäksi valittiin samat kuin mattorullan jarrutukseen. Rungon jarrujärjestelmä kiinnitetään taka-akseliin. Jarrutuksen käyttövoimaksi valittiin käsivoima luvussa 3.3. Rungon jarrutuksen käyttömekanismi asennetaan operaattorin tasolle.

Valittujen jarrunosien nimikkeet ovat seuraavat:

- pääjarrusylinteri: K225-N (14)
- jarrusatula: K897N (15)
- jarrulevy: K238GS-200 (16)
- keskiö: K606DG (17).

4.6 Renkaiden valinta

Renkaiksi valitaan yleismalliset peräkärryn renkaat. Peräkärryn renkaita on saatavilla useilta kauppiailta Suomessa. Runko mitoitettiin rengaskoolle 145R13C8. Vanteiden kiinnitys on oltava yhteensopiva eturenkaiden akselin kanssa sekä takarenkaiden kiinnityksen kanssa. Kiinnitysjaoksi oletettiin valitulle rengaskoolle yleinen jako Ø100x4.

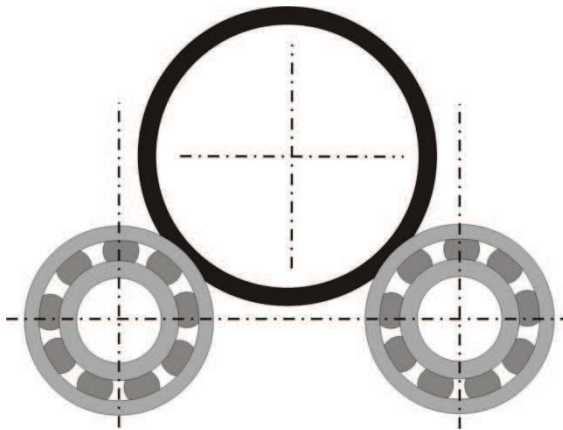
Eturenkaiden ripustus

Eturenkaat ovat vapaasti kääntyvät ja jarruttomat. Renkaiksi valittiin yleiset 13 tuumaiset peräkärryn renkaat, joihin on saatavissa valmiita peräkärrykäyttöön tarkoitettuja napoja. Peräkärryn napoja on saatavissa useista eri liikkeistä Suomessa. Eturenkaiden ripustukseen tässä opinnäytetyössä valittiin kaupalliset jarruttomat peräkärryn navat mallimerkinnältään PV320010 (18).

4.7 Laakereiden valinta

Mattorullan kannatuksen laakerien valinta

Mattorullan sisäputken kannatukseksi valittiin laakeripeti luvussa 3.3. Laakeripeti toteutetaan neljällä laakerilla siten, että sisäputken molemmissa päissä on kaksi laakeria, joiden päällä sisäputki lepää. Laakerit päätettiin sijoittaa siten, että niiden keskilinja ylittää sisäputken kehän, jolloin sisäputki ei pääse putoamaan pediltä. Laakeripedin osien sijoittelu on esitetty kuvassa 40.



KUVA 43. Laakeripedin laakerien sijoitus suhteessa mattorullan sisäputkeen

Laakerien valinnassa oletetaan mattorullan ja sen sisäputken painon jakautuvan tasaisesti kaikkien neljän laakerin päälle. Koska mattorullan sisäputki pyörii suoraan laakereilla, käytetään mitoitusperiaatteena ensisijaisesti laakerien halkaisijamittaa. Laakereiksi valitaan suuret laakerit, jotta kosketuspintapaine laakerien ja sisäputken välillä jäisi mahdollisimman pieneksi. Laakereiden tulee olla myös mahdollisimman leveitä kosketuspaineen minimoimiseksi. Laakereiden halkaisijaksi päätettiin valita 2/3 maton sisäputken halkaisijasta. Laakereille tarvittavaksi halkaisijaksi saatiin 57 millimetriä. Kiinnityksen toteutuksen yksinkertaistamiseksi valitaan laakeri, jossa sisäreikä on mahdollisimman pieni halkaisijaltaan, jolloin laakeri voidaan kiinnittää pultilla.

Laakeriksi valitaan SKF Internet -sivuston katalogista halutun kokoinen laakeri. Laakeriksi valittiin yksirivinen kuularullalaakeri 6404, jonka ulkohalkaisija on 72 mm (19). Laakerien valinnassa käytetään laitteen käyttötilanteessa niihin kohdistuvaa massaa 7,85 kN:a kun oletetaan 31,4 kN:n massan jakautuvan tasan neljälle laakerille. Valitun laakerin dynaaminen maksimikuorma on 30,7 kN ja staattinen maksimikuorma 15 kN. Mitoituksessa käytetään staattista maksimikuormaa jonka varmuuskerroin on lähes 2 mattorullan kannatuksen tapauksessa.

Laakerit mitoitetaan yleensä tuhansien käyttötuntien mukaan (6, s.129). Harjoitustyön tekonurmimaton rullaus- ja purkulaitteella puretaan ja kasataan yksi tekonurmimatto kerran vuodessa. Etenemisnopeudella 0,1 m/s yhden mattorullan kasaukseen tai purkuun menee 8,3 minuuttia. Tällä käyttöasteella vuodessa

käyttötunteja tulee 8,3 tuntia, kun tekonurmimatossa on 30 mattoelementtiä. Keskimääräinen pyörimisnopeus on 4,8 1/min. Pieneksi jäävän käyttörasituksen vuoksi laakerille ei tarvitse suorittaa tarkastelua vierintäväsytymisen suhteen.

Takarenkaiden laakerien valinta

Takarenkaiden akselin tuentaan valittiin laakeripesällinen laakeriyksikkö. Lähtötietojen mukaan laite tuli suunnitella mahdollisimman halvaksi. Laitteeseen valitaan valmiita laakeripesäyksiköitä, sillä muuten jouduttaisiin koneistamaan vastaavanlaisia. Laakerikustannuksia voitaisiin pienentää myös pienemmällä akselilla. Yksikkö valittiin akselin halkaisijan perusteella. Taka-akselien kannatukseen valittiin SYJ 40 TF -laakeriyksikkö, joka sisältää seuraavat osat:

- laakeripesä SYJ 508
- laakeri 208-2F (20).

Etupään ripustuksen laakerien valinta

Etupään ripustukseen valittiin kaksi laakeria. Laakerit valittiin akselin halkaisijan mukaan ja tarkistettiin sallittujen kuormitusten alittaminen. Etupään ripustukseen valittiin pystysuunaisen voiman vastaanottava painelaakeri ja sivuttaisuuntaisen voiman vastaanottava laakeri. Painelaakeriksi valittiin sisähalkaisijan perusteella SKF:n painelaakeri 51108 (21). Valitun laakerin dynaaminen kantavuusluku on 26 kN, joka on suurempi kuin siihen kohdistuva noin 5 kN kuormitus.

Etupään ripustuksen sivuttaisvoiman vastaanottavaksi laakeriksi valitaan laakeriyksikkö, joka sisältää laakerin ja laakeripesän. Laakeriyksiköksi valittiin akselin halkaisijamitan perusteella FYTB 40 TR -laakeriyksikkö (22). Laakeriyksikkö sisältää seuraavat osat:

- laakeri: YAR 208-2RF
- laakeripesä: FYTB 508 M
- päätysuoja: ECY 208 (21).

Vedon lukituksen laakerin valinta

Vedon lukitukseen valittiin ulkohalkaisijan perusteella SKF:n yksirivinen rulla-laakeri 6200 (23). Ulkohalkaisijan tuli olla mahdollisimman suuri, mutta kuitenkin alle 35 mm.

5 VAIHTOEHTOISET TOTEUTUSTAVAT

5.1 Vaihtoehtoiset osatoiminto valinnat

Rakenteelle on lukuisia erilaisia toteutusvaihtoehtoja. Itsestään ohjautuvia tekonurmimaton rullaus- ja purkulaitteita ei ole markkinoilla, joten ei myöskään tiedä minkälainen rakenne olisi toimivin tekonurmen rullaukseen. Mattorullan itsestään ohjautumiseen voidaan kokeilla lukuisia eri yhdistelmiä, joissa jokaisissa on omat hyvät ja huonot puolensa.

Vaihtoehtoisista toteutustavoista varteenotettavin olisi vaihtaa laitteen ajo- ja mattorullan pyöritysmoottorit ja voimanlähteet hydraulisiksi. Hydraulimoottorilla saatavia etuja olisi sen koko ja ettei vaihdetta tarvita. Hydraulimoottorilla pyörimisnopeus voitaisiin suoraan pudottaa pieneksi kuristamalla virtaavan hydraulinesteen tilavuusvirtaa vääntömomentin kärsimättä.

Vaihtoehtoisesti laitteen sähkömoottorit voidaan vaihtaa askel- tai servomoottoreiksi. Askel- ja servomoottoreilla ohjauksen tarkkuus ja ohjelmoitava automaattisuus saataisiin tarvetta paremmalle tasolle. Ongelmana menetelmissä on ohjauksen toteutuksen hankaluus.

Ohjaus purkua ajatellen voidaan toteuttaa lisäämällä erillisohjatut jarrut laitteen molemmille puolille. Tällöin mattoa purkaessa ohjaus voidaan toteuttaa jarruttamalla enemmän sitä puolta, johon laitteen halutaan taittavan. Jarrujen käytön ohjaus voitaisiin viedä erilliselle langattomalle ohjaimelle.

Laitteen ajomoottori ja mattorullan pyöritysmoottori voitaisiin synkronoida toimaan yhdenaikaisesti, jolloin mattorullan ajomoottorin ei tarvitsisi vetää laitetta. Synkronointi voitaisiin toteuttaa yksinkertaisella logiikalla.

5.2 Vaihtoehtoiset toteutustavat virheellisen toiminnan tilanteissa

Laitteen toimintaa on pystytty tarkastelemaan vain teoriassa tämän opinnäytetyön osalta, koska teoriassa mietittyjä ratkaisuja ei ole voinut testata. Laitteen automaattisen ohjautumisen menetelmä on kehitetty tässä opinnäytetyössä, joten kyseisen menetelmän toiminnasta ei ole vertailukohteita. Tilanteessa, jos-

sa mattorulla pääsee kartioitumaan automaattisen ohjautumisen virheellisen toiminnan seurauksena, voidaan laitteeseen rakentaa operaattorin hallittava ohjaus.

Lukitsemalla ohjaus operaattorin hallintaan saadaan laite ohjattavaksi. Kun laite on ohjattava, voi operaattorin ohjausta muuttamalla estää mattorullan kartioitumista. Tällöin laitteen ohjaajalta vaaditaan tarkkaavaisuutta ja taitoa pystyä ohjaamaan laitetta oikein. Laitteen ohjaus voidaan yksinkertaisella rakennemuutoksella muuttaa operaattorin hallittavaksi. Rakennemuutoksissa eturenkaiden ripustukset yhdistetään raidetangolla ja niiden kulman ohjaus viedään operaattorin hallittavaksi.

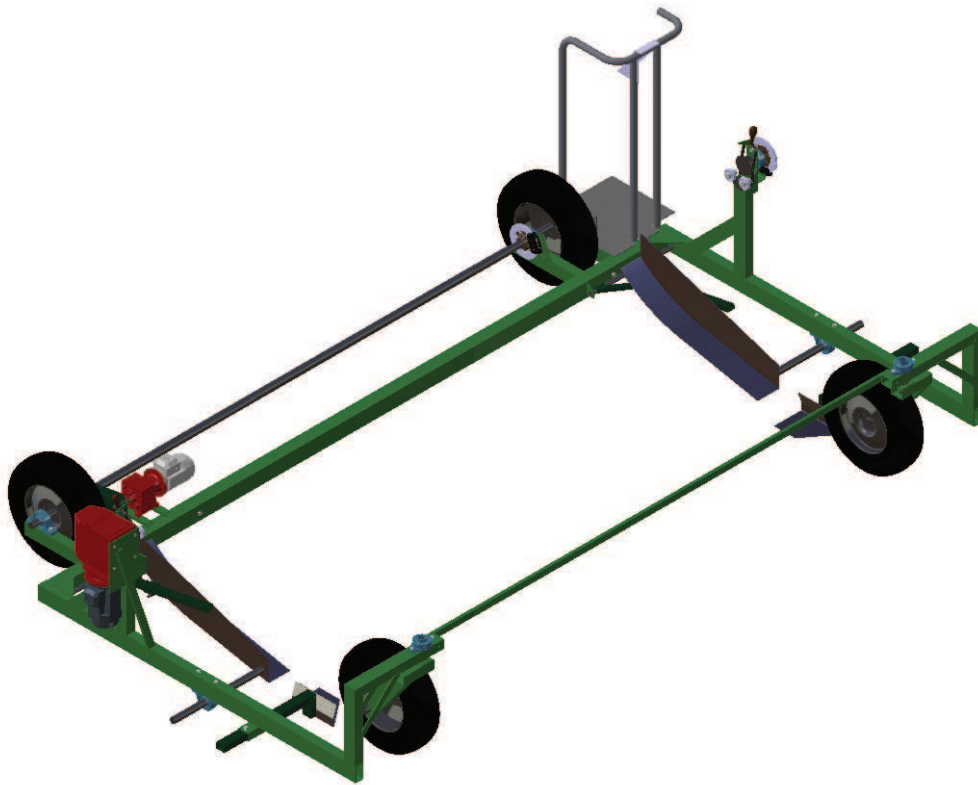
Laitteen ohjautumista voidaan muuttaa myös muuttamalla renkaiden akselin ja tuennan välinen etäisyys lyhyemmäksi. Lyhyemmällä renkaiden akselin ja tuennan välisellä etäisyydellä saadaan ohjaus herkemäksi, mutta tällöin se muuttuu myös levottomammaksi.

Ohjautumista voidaan korjata myös viemällä ohjureita lähemmäs ohjautuvia renkaita. Tällöin renkaat ohjautuvat herkemmin ohjureiden mukaan, mutta mattoon saattaa syntyä ylimääräistä kulumista sen laahatessa ohjuriin. Laahausta syntyy herkemmin, mitä lähempänä ohjuri on rengasta, sillä maton on noustava renkaan alta ohjurilevyn päälle.

6 TULOKSET

Työn tarkoituksen oli suunnitella tuotteistettava tekonurmimaton rullaus- ja purkulaite. Laite suunniteltiin AABA Kotikentät Oy:n tilauksesta. Siitä tuli suunnitella tuotteistettava laite, jota voidaan myydä irrotettavien tekonurmimattojen rinnalla. Laitteen mallina käytettiin Vaasan kuntayhtymän vastaavanlaista laitetta. Laitteen mitoituksessa käytettiin AABA Kotikentät Oy:n myymää CCgrass football turf VV -tekonurmimattoa. Maton käyttäytymistä rullatessa voitiin tarkastella vain oletuskäyttäytymisen tasolla. Lopulliseen rakenteeseen päästiin erilaisten suunnittelu- ja analyysimenetelmien avulla. Laitteen rungolle tehtiin lujuusopillisten laskuperiaatteiden perusteella mitoitus, joka tarkastettiin Catia-ohjelmistolla.

Tekonurmimaton rullaus- ja purkulaite mallinnettiin kaikkine toimilaitteineen Catia-ohjelmistolla. Mallinnus tehtiin rakenneluonnospiiirustuksen pohjalta. Standardiosat haettiin Internetissä olevista ilmaisista kirjastoista. Laitteesta tehtiin osa- ja kokoonpanopiiirustukset. Laite ja sen osat numeroitiin tilaajan mukaan siten, että pääkokoonpano on AABA-0000 ja ensimmäinen alikokoonpano on AABA-1000. Osanumerointi tehtiin kokoonpanon alaiseksi siten, että esimerkiksi ensimmäisen kokoonpanon kolmas osa on numeroltaan AABA-1030. Edellä mainitussa osanumerossa viimeinen merkki jätettiin 0:ksi, jolloin osan ollessa kokoonpano voidaan sen osat nimetä esimerkiksi AABA-1031. Kokonaisosanumerointi on esitetty liitteessä 2. Laitteen osista tehtiin valmistus- ja kokoonpanopiiirustukset laitteen tekoa varten (Liite 3). Suunniteltu tekonurmimaton rullaus- ja purkulaite on kokonaisuudessa esitetty kuvassa 44.



KUVA 44. Suunniteltu tekonurmimaton rullaus- ja purkulaite

7 YHTEENVETO

Tässä opinnäytetyössä tuli suunnitella tuotteistettava tekonurmimaton rullaus- ja purkulaite. Toimivuuden pohjana käytettiin Vaasan kuntayhtymän vastaavaa laitetta. Tavoitteena oli suunnitella lähes automaattinen tekonurmen rullaus- ja purkulaite, joka vaatii ajon aikana vain yhden operaattorin. Laitteen tuli olla tuotteistettava, ja siksi siitä piirrettiin tarvittavat piirustukset sen valmistusta varten. Tilaajan vastuulle jää laitteen hinta-arvio sekä päätös laitteen valmistamisen kannattavuudesta.

Laitteen suunnittelussa edettiin johdonmukaisesti. Laitteen suunnittelu aloitettiin miettimällä rullauksen epäonnistumisen juurisyy. Juurisyytä miettiessä päädyttiin siihen, että mattorulla rullautuu huonolle rullalle, kun mattorullan keskiakseli ei etene suoraviivaisesti mattoon nähden. Laitteen toimintoja mietittiin juuriongelman ratkaisemiseksi ja käytettävyyden kannalta. Opinnäytetyön tekonurmen rullaus- ja purkulaite suunniteltiin sellaiseksi, että sen ajon aikaiseen operointiin tarvitaan vain yksi henkilö.

Tekonurmimaton rullaus- ja purkulaitteelle valittiin ennen varsinaisen toiminnan suunnittelua sen perustoiminnan lähtökohta. Perustoiminnan lähtökohdaksi valittiin mattorullan rullaus irti maasta. Tähän ratkaisuun päästiin, kun vertailtiin maton maassa ja ilmassa rullausta. Perustoiminnan valinnan jälkeen laitteen kokonaistoiminta jaettiin osatoimintoihin, joille mietittiin erilaisia ratkaisuvaihtoehtoja. Laitteen toiminta jaettiin kolmeen päätoimintoon: rullan liike, runko ja maton ohjaus, jotka jaettiin tarpeellisiin osatoimintoihin päätoiminnon ratkaisun edellytykseksi.

Suunnittelutyön osaratkaisujen valinnassa käytettiin morfologista taulukkoanalyysiä. Morfologiseen taulukkoon listattiin osatoimintojen osaratkaisut. Osaratkaisuista hylättiin osa niiden toteutuksen vaikeuden tai kannattamattomuuden vuoksi. Jäljelle jääneistä osaratkaisuista valittiin kolme erilaista kokonaisratkaisua. Kokonaisratkaisuja vertailtiin vaatimuslistan toimintojen täyttyvyyden kannalta. Toiminnoille laskettiin tärkeyskertoimet parivertailumenetelmällä, joita

käytettiin vertailutaulukossa. Parivertailutaulukolla saatujen tärkeyskertoimien ja kokonaisratkaisujen arvostelun kautta valittiin jatkokehitettävä konstruktio.

Tekonurmimaton rullaus- ja purkulaitteen rungon valinta tehtiin vertailemalla eri runkorakenteita. Erilaisiksi runkorakenteiksi mietittiin kolme rakennevaihtoehtoa. Nämä kolme rakennevaihtoehtoa mitoitettiin ensin laskemalla elementeille tarvittavat puristus- ja vetovahvuudet, vääntöjäyhyydet sekä taivutusvastukset. Esimitoituksen tuloksena kullekin rakenteelle saatiin valittua elementit sekä laskettua rakenteen kokonaispaino. Esivalinnan perusteella rakenteille tehtiin Catia-ohjelmistolla lujuusanalyysi, jossa tarkasteltiin rakenteiden siirtymiä ja maksimijännitysten esiintymispaikkoja. Lopullinen rakenne valittiin kehitellyn kaavan mukaan, jossa huomioitiin rakenteen paino, sen jousto ja valmistettavuus. Valmistettavuutta arvioitiin hitsausliitosten lukumäärän mukaan.

Laitteen suunnittelussa hyödynnettiin mahdollisimman paljon standardiosia. Kaikki elementit ja suurin osa toiminnan mahdollistavista osista valittiin standardiosien luettelosta. Laitteen valmistusmäärät ovat muutamia kappaleita, sillä Suomessa on vain muutama purettava tekonurmikenttä eikä kyseisiä mattoja myydä usein. Sen vuoksi laitteen osat ja rakenne pyrittiin suunnittelemaan ennen kaikkea helposti valmistettaviksi. Kokonaisrakenne saatiin suunniteltua siten, että laitteessa on kokonaisuudessa vain neljä osaa, jotka tarvitsevat työstökonetta valmistukseen. Työstökonetta tarvitaan edellä mainituissa osissa kii-laurien työstöön sekä akselin muotoiluun. Rakenne suunniteltiin sellaiseksi, että se voidaan valmistaa ja tehdä kokoonpano suhteellisen pienin kustannuksin.

Tässä opinnäytetyössä mitoitettiin ja valittiin sen toiminnan kannalta välttämättömät toimilaitteet. Toimilaitteet mitoitettiin vakioetenemisnopeudelle 0,1 m/s, jolloin yhden maton keräykseen kuluu noin 8 minuuttia aikaa. Toimilaitteiden ja kone-elinten kiinnitykset suunniteltiin helposti valmisteltaviksi. Toimilaitteiden kiinnityksiin syntyviä jännityksiä tarkasteltiin Catia-ohjelmiston lujuusanalyysissä.

Suunnittelutyön edetessä laitteen konstruktio muuttui hieman. Lopullinen rakenne on erilainen kuin siitä tehty ensimmäinen luonnospiirustus. Laitteen rakenteeseen tuli tehdä pieniä muutoksia suunnittelutyön ja mallintamisen edetessä,

jotta kaikki osat ja toiminnot saataisiin sopimaan ja toimimaan yhdessä. Rakenteen osatoimintoihin tehtiin myös pieniä muutoksi prosessin edetessä. Muutokset tehtiin aina harkiten ja niiden toimivuutta ja tarpeellisuutta punnittiin mahdollisimman monesta eri näkökulmasta. Suunnittelutyön edetessä huomattiin, että useat osaratkaisut vaativat rinnalle toimiakseen mekanismeja. Tästä esimerkkinä mattorullan nostin, joka vaati tukevan kiinnityksen.

Suunnittelutyön ja opinnäytetyön prosessin aikana huomasin, että on vaikea löytää absoluuttista ja parasta toteutusvaihtoehtoa. Kokonaisratkaisu on kompromissi, jossa otetaan huomioon kaikkien eri osatoimintojen mahdollisimman hyvä toiminta. Tämän opinnäytetyön aikana olen uusien näkökulmien ja asiaan perehtymisen kautta joutunut useasti miettimään ja uusimaan ratkaisuja. Suunnitteluprosessi ja asiaan perehtyminen on muokannut ajatuksiani tekonurmimaton rullaus- ja purkulaitteen toiminnasta, ja noin 400 tuntia pohdintaa johti tässä työssä tulokseksi saatuun laitteen konstruktion.

Ratkaisuvaihtoehtojen toimivuutta pystyttiin vain arvioimaan, sillä maton käyttäytymistä on vaikea ennustaa. Maton ohjauksen lisäksi tekonurmimaton nurmi voi taivuttaa sen joutessa pintapaineen alaiseksi. Taivuttamisesta voi seurata rullan nurjahtaminen kartion muotoon, koska mattorullan kerrosten paino painaa mattoa kasaan. Rakenteelle voidaan valita lukuisia erilaisia ratkaisuvaihtoehtoja, jotka toimivat eri lailla. Todellinen toiminta voidaan todeta vain rakentamalla laitteesta prototyyppi, jolla toiminta testataan.

Valitun rakenteen virheellisen toiminnan esiintymistapauksiin mietittiin korjausvaihtoehtoja. Korjausvaihtoja mietittiin sellaisiksi, että pienillä rakenteellisilla muutoksilla tai lisäyksillä saadaan muutettua laitteen toimintaa.

Catia-ohjelmalla tehtyjen lujuus analyysien tulokset runkorakenteiden tarkastelussa erosivat hieman odotetusta. Rakennevaihtoehdon c analyysissä ilmeni epätarkkuuksia maksimijännitysten osalta. Lujuusanalyysit olisi voitu tarkistaa esimerkiksi Autodesk Robot- tai QSE WIN-ohjelmalla, mutta koska tarkastelun kohteen oli vain rakenteiden siirtymien vertailu sitä ei tehty. Catia-ohjelman lujuusanalyysi tarkasteluissa käytettiin samaa rakenne mallia kuin geometria malli. Analyyseistä olisi saanut tarkemmat tekemällä erillinen lujuus-analyysiin tar-

koitettu geometria malli. Merkittävät epätarkkuudet esiintyivät lähinnä rakenne-mallissa c, joka olisi vaatinut jatkokehittelyä, sillä etummainen poikkipalkki olisi estänyt mattorullan noston trukilla tai vastaavalla.

Mattorullan kannatin laakereiksi voidaan valita myös kyseisen kaltaiseen kuor-mitukseen valitut laakerit. Normaalia laakeria ei ole suunniteltu kannattamaan sitä vasten vierivää pintaa. Mattorullan kannatukseen voidaan valita laakerit jotka on suunniteltu vierimään pintaa vasten tai työstää normaalille laakerille ulkokehä käyttötuntimäärän lisäämiseksi. Tämän opinnäytetyön tapauksessa en nähnyt sitä välttämättömäksi, sillä käyttötuntimäärät ovat hyvin pieniä ja laakerit ovat paikassa, josta ne on helppo vaihtaa.


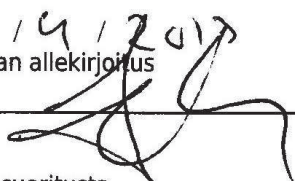
Opinnäytetyön tulokseksi saatiin tekonurmimaton rullaus- ja purkulaite, joka vastaa vaatimuksia, joiden pohjalta se suunniteltiin. Tavoitteisiin päästiin opin-näytetyön osalta, mutta laitteen jatkosta päättää tilaaja.

LÄHTEET

1. Yritysesite. Aaba Kotikentät Oy. Ei julkaisutietoja.
2. Ylimaula, Mikko 2011. T318208 Tuotekehitys 8 op. Opintojakson oppimateriaali lukukaudella 2011-2012. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.
3. Tekniikan kaavasto. 2000. Tampere: Tammertekniikka Oy.
4. Valtanen, Esko 2012. Tekniikan taulukkokirja. 19. painos. Genesis-kirjat Oy. Mikkeli: St Michel Print Oy.
5. Lahtinen, Pekka 2010. T314108 Lujuusoppi 8 op. Opintojakson oppimateriaali lukukaudella 2010-2011. Oulu, Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.
6. Blom, Seppo – Lahtinen, Pekka – Nuutio, Erkki – Pekkola, Kari – Pyy, Seppo – Rautiainen, Hannu – Sampo, Arto – Seppänen, Pekka – Suosara, Eero 1999. Koneelimet ja mekanismit. Helsinki: Edita.
7. Tekninen dokumentaatio. Kierrukkavaihdemoottorit S-sarja. Täydellinen katalogi. Saatavissa: <http://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/16997611.pdf> Hakupäivä 30.5.2013.
8. ABB tekninen opas nro 7. 2001. Saatavissa: [http://library.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/b11d4fe92973be93c1256d2800415027/\\$File/Tekninen_opasnro7.pdf](http://library.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/b11d4fe92973be93c1256d2800415027/$File/Tekninen_opasnro7.pdf) Hakupäivä 15.5.2013.
9. Laakso, Hannu 2011. T320103 Sähkökäytöt 3 op, Opintojakson oppimateriaali keväällä 2012. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.
10. ABB Low voltage general purpose motors. 2008. Esitekatalogi. Saatavissa: <http://www.elektoroskandia.ee/pub/tooted/toostus/ABB-General-Purpose-Motoris.pdf> Hakupäivä 30.4.2013.

11. ABB. Machinery drives -taajuusmuuttajat (pienjännitetaajuusmuuttajat).
2013. Saatavissa:
<http://www.abb.fi/product/seitp322/9cf09fdc8097705dc1257935003d7296.aspx> Hakupäivä 30.4.2013.
12. ABB Low voltage machinery drives - ACS 355 Catalog ,0.37 to 22 kW/0,5 to 30 hp, Catalog – ACS355machinerydrives_catalog_EN_REVD.pdf.
Saatavissa:
[http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/verifydisplay/e51d888fae9e2432c1257b5f002965da/\\$file/ACS355machinerydrives_catalog_NE_REVD.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/verifydisplay/e51d888fae9e2432c1257b5f002965da/$file/ACS355machinerydrives_catalog_NE_REVD.pdf)
Hakupäivä 30.4.2013.
13. SKF Mekaniikka. Ketjupyörät ja tarvikkeet. 2008. Saatavissa:
[http://www.sks.fi/download/sks_ketjupyorat_ja_tarvikkeet/\\$file/ketjupyorat_tarvikkeet_731216_08.pdf](http://www.sks.fi/download/sks_ketjupyorat_ja_tarvikkeet/$file/ketjupyorat_tarvikkeet_731216_08.pdf) Hakupäivä 2.5.2013.
14. Jarrupääsylinteri RR. Kartingkauppa.com. 2009. Saatavissa:
<http://www.kartingkauppa.com/jarrupaasylinteri-rr-p-232.html> Hakupäivä 29.4.2013.
15. Jarrusatula RR. 2009. Kartingkauppa.com. Saatavissa:
<http://www.kartingkauppa.com/jarrusatula-rr-p-236.html> Hakupäivä 29.4.2013.
16. Jarrulevy jäähdytetty urilla 12/200 mm. Kartingkauppa.com. 2009. Saatavissa:
<http://www.kartingkauppa.com/jarrulevy-jaahdytetty-urilla-12200-p-244.html> Hakupäivä 29.4.2013.
17. Jarrulevykeskiö 40 mm kulta. Kartingkauppa.com. 2009. Saatavissa:
<http://www.kartingkauppa.com/jarrulevykeskio-40mm-kulta-p-227.html> Hakupäivä 29.4.2013.
18. Navat. Virtasenverkkokauppa.fi – verkkokauppa. Jarruton napa 375 kg PV320010. Saatavissa:
<http://www.virtasenkauppa.fi/tuotteet/peravaunutarvikkeet/navat> Hakupäivä 25.4.13.

19. Deep groove ball bearings, single row. SKF. Saatavissa:
<http://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/single-row/index.html?prodid=1010020404&imperial=false#> Hakupäivä 6.5.2013.
20. Y-bearing plummer block units, cast housing, grub screw locking. SKF. Saatavissa: <http://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/bearing-units/ball-bearing-units/y-bearing-plummer-block-units/cast-housing-grub-screw-locking/index.html?prodid=211201040&imperial=false> Hakupäivä 7.5.2013.
21. Thrust ball bearings, single direction. SKF. Saatavissa:
<http://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/ball-bearings/thrust-ball-bearings/single-direction/index.html?prodid=1610011108&imperial=false> Hakupäivä 7.5.2013.
22. Y-bearing flanged units, cast housing, oval flange, grub screw locking. SKF. Saatavissa: <http://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/bearing-units/ball-bearing-units/y-bearing-flanged-units/cast-housing-oval-flange-grub-screw-locking/index.html?prodid=212102040&imperial=false> Hakupäivä 7.5.2013.
23. Deep groove ball bearings, single row. SKF. Saatavissa:
<http://secure.skf.com/group/products/bearing-units-housing/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/single-row/index.html?prodid=1050010200&imperial=false> Hakupäivä 12.5.2013.

Työn tiedot	Tekijä ¹ Rami Kokko 050 301 6308 ramikokko@hotmail.com	Tilaaja ² Aaba kotikentät Oy
Tilaajan yhdyshenkilö ja yhteystiedot ³ Jesperi Lopenen +358405559695 jesperi@aaba.fi		
Työn nimi ⁴ Tekonurmimaton keräys- ja purkulaite		
Työn kuvaus ⁵ Työssä suunnitellaan tuotteistettava tekonurmimaton rullaus- ja purkulaite. Laite suunnitellaan koska kyseisen kaltaista laitetta tai tuotetta ei ole Suomen markkinoilla. Lähtötilanteessa vertailu tuotteena käytettään Vaasan kuntayhtymän valmistuttamaa samankaltaista laitetta. Opinnäytetyössä suunnitellaan tekonurmimaton konstruktioa alusta asti, sekä mitoitetaan siihen tarvittavat toimilaitteet. Tavoitteena on kehittää laite joka toimii puoliautomaattisesti.		
Työn tavoitteet ⁶ Suunnitella tuotteistettava tekonurmimaton rullaus- ja purkulaite. Laitteeseen suunnitellaan runko ja sen konstruktio, sekä mitoitetaan siihen kaikki tarvittavat toimilaitteet. Laitteesta tuotetaan piirrustukset ja muut tarvittavat dokumentit valmistusta varten.		
Tavoiteaikataulut ⁷ Työ piirrustukset ja dokumentit tulee olla tarkastettavana tilaajalla 13.5.13		
Päiväys ja allekirjoitukset ⁸ <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="text-align: center;"> 8 / 4 / 13 Tekijän allekirjoitus  </div> <div style="text-align: center;"> 8 / 4 / 2013 Tilaajan allekirjoitus  </div> </div>		
<ol style="list-style-type: none"> 1. Tekijän nimi, puhelinnumero ja sähköpostiosoite. 2. Työn teettävän yrityksen virallinen nimi. 3. Sen henkilön nimi ja yhteystiedot, joka yrityksessä valvoo työn suoritusta. 4. Työn nimi voi olla tässä vaiheessa työnimi, jota myöhemmin tarkennetaan. 5. Työ kuvataan lyhyesti. Siinä esitetään muun muassa työn tausta, lähtötilanne ja työssä ratkaistavat ongelmat. 6. Esitetään lyhyesti ja selvästi työn tavoitteet. 7. Esitetään projektin tavoiteaikataulu. Silloin, kun työllä on välitavoitteita, myös ne merkitään aikatauluun. Tavoiteaikataulun ja oppilaitoksen yleisaikataulun perusteella tekijä laatii oman aikataulunsa. 8. Lähtötietomuuistio päivätään ja sen allekirjoittavat tekijä ja tilaajan yhdyshenkilö 		

Pääkokoonpano: AABA-0000 osalista

Osanumero:	Osan nimitys: aihio, standardi, materiaali
AABA-1000	Runko
AABA-2000	Eturenkaiden ripustus oikea
AABA-3000	Eturipustus vasen
AABA-4000	Taka-akseli
AABA-5000	Mattorullan kannatin, vetopuoli
AABA-6000	Mattorullan kannatin, jarrupuoli
AABA-7000	Nostin
AABA-8000	Nostin vasen
AABA-9000	Ohjuri vasen
AABA-10000	Ohjuri vasen
AABA-1180	Pystypalkin tuki: 80x60x2x505, SFS-EN 10219-2, SFS 235
AABA-2210	Ketjusuoja
145R13C8	Peräkärryn rengas: 145R13C8
K879N	Jarrusatula, Righetti Ridolfi
DIN 8187 500-762 mm	Rullaketju, DIN 8187
SFS ISO 4014-M8-50-8.8	Pultti M8x50
ISO 4031-M8	Mutteri M8

Runko kokoonpano: AABA-1000 osalista

Osanumero:	Osan nimitys: aihio, standardi, materiaali
AABA-1010	Runko palkki: 100x60x5x2010, SFS-EN 10219-2, SFS 235
AABA-1020	Vaakapalkki
AABA-1030	Etutuenta pystypalkki: 80x60x3x400, SFS-EN 10219-2, SFS 235
AABA-1050	Taka-akselin tukipalkki: 80x60x2,5x450, SFS-EN 10219-2, SFS 235
AABA-1060	Ohjaajan taso
AABA-1070	Etutuenta vaaka palkki: 80x60x4x650, SFS-EN 10219-2, SFS 235
AABA-1100	Painelaakerin suoja: 3x13x197, SFS-EN 10025, S235JRG2
AABA-1110	Ajomoottori jalusta: 40x20x3x250, SFS-EN 10219-2, SFS 235
AABA-1120	Moottori jalusta tuki: 80x60x2,5x270, SFS-EN 10219-2, SFS 235
AABA-1130	Jarru tuki: 5x60-195, SFS-EN 10025, S235JRG2
AABA-1140	Etu Tuki: 400x40x5,0, SFS-EN10025, S235JRG2
AABA-1150	Kulma vahvistin
AABA-1160	Yhdysputki, 40x20x3,0x3800, SFS-EN 10219-2, SFS 235
AABA-1170	Ohjaus ohjurin tuki: 70x50x2x150, SFS-EN 10219-2, SFS 235
AABA-1190	Nostimen luistiputki: Ø26,0x2,0x600, SFS-EN 10025, S235JRG2
AABA-1200	Nostin linjaaja sisäputki, kiinnike, SFS-EN 10025, S235JRG2
R27AM71	Vaihde, i=32,47
71M6B 3GQA 073 302 - BDA	Oikosulkumoottori
SH58-15/25-HRC 45/53	Ketjupyörä 15/25
SYJ 40 TF	Laakeri yksikkö, pysty
FYTB 40 TR	Laakeriyksikkö, vaaka
ISO 4032-M16	Mutteri M16
SFS ISO 4014-M12-90-8.8	Pultti M12x90
ISO 4032-M12	Mutteri M12
SFS ISO 4014-M8-130-8.8	Pultti M8x130
ISO 4031-M8	Mutteri M8
SFS ISO 4014-M14-130-8.8	Pultti M14x130

ISO 4032-M14	Mutteri M14
ISO 4014-M14-120-8.8	Pultti M14x120
SFS ISO 4014-M8-50-8.8	Pultti M8x50

Rungon yhdysputki kokoonpano: AABA-1020 osalista

Osanumero:	Osan nimitys: aihio, standardi, materiaali
AABA-1021	Poikittaispalkki oikea: 100x80x880, SFS-EN 10219-2, SFS 235
AABA-1022	Poikittaispalkki vasen: 100x80x600, SFS-EN 10219-2, SFS 235
AABA-1023	Poikittaispalkki keski: 100x80x5x2960, SFS-EN 10219-2, SFS 235
AABA-1024	Poikittaispalkki sisa: 90x70x5x600, SFS-EN 10219-2, SFS 235
ISO 4014-M14-120-8.8	Pultti M14x120
ISO 7090-14	Aluslevy M14
ISO 4032-M14	Mutteri M14

Operaattorin taso kokoonpano: AABA-1060 osalista

Osanumero:	Osan nimitys: aihio, standardi, materiaali
AABA-1061	Operaattorin taso, pohjalevy: 522x220x4,0
AABA-1062	Ohjauspaneeli
AABA-1063	Suojakaide
AABA-1064	Suojakaide tuki: Ø38x4x1200, SFS10025, S235JRG2
AABA-1065	Operaattori tason runko 60x40x5,0x500, SFS-10219-2, SFS 235
AABA-1066	Operaattori tason runko

Eturipustus, oikea kokoonpano: AABA-2000 osalista

Osanumero:	Osan nimitys: aihio, standardi, materiaali
AABA-2010	Pystyskeli: Ø40x200, 18 Mn V5
AABA-2020	Painelaakeri tuki: Ø60, SFS-EN 10025, S355J2G3
AABA-2030	Vahvistin levy: 85x75x6, SFS-EM 10025, S235JRG2
AABA-2040	Sivuttaispalkki: 80x60x5x220, SFS-EN 10219-2, SFS 235
AABA-2050	Ohjauspalkki: 100x60x5x425, SFS-EN 10219-2, SFS 235
AABA-2060	Tukilevy: 120x100x5, SFS-EM 10025, S235JRG2
PV320010	Peräkärryn napa
51108	Painelaakeri: 51108

Eturipustus, vasen kokoonpano: AABA-3000 osalista

Osanumero:	Osan nimitys: aihio, standardi, materiaali
AABA-3010	Pystyskeli: Ø40x200, 18 Mn V5
AABA-3020	Painelaakeri tuki: Ø60, SFS-EN 10025, S355J2G3
AABA-3030	Vahvistin levy: 85x75x6, SFS-EM 10025, S235JRG2
AABA-3040	Sivuttaispalkki: 80x60x5x220, SFS-EN 10219-2, SFS 235
AABA-3050	Ohjauspalkki: 100x60x5x425, SFS-EN 10219-2, SFS 235
AABA-3060	Tukilevy: 120x100x5, SFS-EM 10025, S235JRG2
PV320010	Peräkärryn napa
51108	Painelaakeri: 51108

Taka-akseli kokoonpano: AABA-4000 osalista

Osanumero:	Osan nimitys: aihio, standardi, materiaali
AABA-4100	Takakannatus oikea
AABA-4200	Takaripustus vasen
AABA-4040	Taka-akseli yhdysputki: Ø48,3x4

SFS ISO 4014-M8-75-8.8 Pultti M8x75
ISO 4031-M8 Mutteri M8

Vetopuolen kannatin akseli kokoonpano: AABA-4100 osalista

Osanumero:	Osan nimitys: aihio, standardi, materiaali
AABA-4030	Renkaiden kiinnityslaippa: Ø180x8, SFS-EN 10025, S344K2G3
AABA-4010	Taka-akseli oikea Ø40x500, SFS-EN 10025, S355J0/E295
SFS 2636-A-12x8-40	Kiila: 12x8, SFS 2636-A-12x8-40
SH58-18/40-HRC 45/53	Ketjupyörä: 18/40

Jarrupuolen kannatin akseli kokoonpano: AABA-4200 osalista

Osanumero:	Osan nimitys: aihio, standardi, materiaali
AABA-4030	Renkaiden kiinnityslaippa: Ø180x8, SFS-EN 10025, S344K2G3
AABA-4020	Taka-akseli vasen: Ø40x500, SFS-EN 10025, S355J0/E295
K606DG	Jarrulwvy keskiö: Ø40
K238GS-200	Jarrulevy: Ø 200
SFS 2636-A-12x8-40	Kiila: 12x8, SFS 2636-A-12x8-40
SFS ISO 4014-M6-20-8.8	Pultti M6x20, SFS ISO 4014-M6-20-8.8
ISO 4032-M6	Mutteri: M6, ISO 4032-M6-8.8

Vetopuolen matorullan kannattin kokoonpano: AABA-5000 osalista

Osanumero:	Osan nimitys: aihio, standardi, materiaali
AABA-5010	Mattorulla tuki oikea
AABA-5030	Vedon lukitsin ja vapautin vipu
AABA-5040	Vetoakseli: Ø115x97, SFS-EN 10025, S235JRG2
AABA-5050	Lukitsin tuki: 180x20x5,0, SFS-EN 10025, S235JRG2
AABA-5060	Lukitsin: 120x30x5,0, SFS-EN 10025, S235JRG2
AABA-5070	Lukitsimen tuki, vetopuoli: 120x20x5,0, SFS-EN 10025, S235JRG2
S77AM80	Kulmavaihde, SEW-Eurodrive S77AM80
M2QA 80M6A 3GQA 083	Oikosulkumoottori
301 – BD	
SFS ISO 4014-M12-40-8.8	Pultti M12x40
ISO 4032-M12	Mutteri M12
SFS ISO 4014-M6-20-8.8	Pultti M6x20, SFS ISO 4014-M6-20-8.8
ISO 7090-6	Aluslevy M6
ISO 4032-M6	Mutteri: M6, ISO 4032-M6-8.8
ISO 4014-M6-110-8.8	Pultti M6x110

Vetopuolen matorullan kannattimen runko kokoonpano: AABA-5010 osalista

Osanumero:	Osan nimitys: aihio, standardi, materiaali
AABA-5012	Laakeri kannatin: 90x145x6,0, SFS-EN10025, S235JRG2
AABA-5013	Vaihteen tuki osa 1: 270x315x5,0, SFS-EN 10025, S235JRG2
AABA-5014	Vaihteen tuki osa 2: 100x200x6,0, SFS-EN 10025, S235JRG2
AABA-5015	Vaihteen tuki osa 3: 40x20x3,0x754,5, SFS-EN 10219-2, SFS 235
AABA-5011	Pystypalkki: 80x60x2,0x600, SFS-EM 10219-2, SFS 235
6404	Laakeri 6404
ISO 7090-20	Mutteri: 20 mm, ISO 7090-20
SFS-ISO 4017-M20-50	Pultti M20x50, SFS-ISO 4017-M20-50-8.8
ISO 4032-M20	Mutteri M20, ISO 4032-M20-8,8

Vedon lukitus ja vapautusvipu kokoonpano: AABA-5030 osalista

Osanumero:	Osan nimitys: aihio, standardi, materiaali
AABA-5031	Vedon lukitus ja vapautus vipu, SFS-EN 10025 S235JRG2
AABA-6032	Kahva
6200	Laakeri 6200
SFS ISO 4014-M8-25-8.8	Pultti M8x25
ISO 4031-M8	Mutteri M8
ISO 7090-8	Aluslevy M8

Jarrupuolen mattorullan kannattin kokoonpano: AABA-6000 osalista

Osanumero:	Osan nimitys: aihio, standardi, materiaali
AABA-6010	Mattorulla tuki runko, jarrupuoli
AABA-6020	Jarru akseli
AABA-6030	Lukitusvipu
K606DG	Jarrulwvy keskiö: Ø40
K238GS-200	Jarrulevy: Ø 200
K879N	Jarrusatula, Righetti Ridolfi
SFS 2636-A-12x8-40	Kiila: 12x8, SFS 2636-A-12x8-40
ISO 4014-M6-110-8.8	Pultti M6x110
ISO 4032-M6	Mutteri: M6, ISO 4032-M6-8.8
SFS ISO 4014-M6-20-8.8	Pultti M6x20, SFS ISO 4014-M6-20-8.8
SFS ISO 4014-M8-50-8.8	Pultti M8x50
ISO 4031-M8	Mutteri M8

Jarrupuolen mattorullan kannattimen runko kokoonpano: AABA-6010 osalista

Osanumero:	Osan nimitys: aihio, standardi, materiaali
AABA-6011	Pystypalkki: 80x60x2,0x600, SFS-EM10219-2, SFS 235
AABA-6012	Laakeri kannatin, SFS-EN 10025, S235JRG2
AABA-6013	Laakerikannatin: 140x260x5,0, SFS-EN 10025, S235JRG2
AABA-6014	Jarrusatulateline: 95x75x5,0, SFS-EN 10025, S235JRG2
AABA-6015	Tuki
AABA-6016	Lukitsin kiinnike, SFS-EN 10025, S235JRG2
AABA-6017	Lukitsin: 120x26x5,0, SFS-EN 10025, S235JRG2
FYTB 40 TR	Laakeriyksikkö, vaaka
6404	Laakeri 6404
ISO 7090-20	Mutteri: 20 mm, ISO 7090-20
SFS-ISO 4017-M20-50	Pultti M20x50, SFS-ISO 4017-M20-50-8.8
ISO 4032-M20	Mutteri M20, ISO 4032-M20-8,8
SFS ISO 4014-M14-30-8.8	Pultti M14x30
ISO 4032-M14	Mutteri M14
SFS ISO 4014-M6-20-8.8	Pultti M6x20, SFS ISO 4014-M6-20-8.8
ISO 7090-6	Aluslevy M6
ISO 4032-M6	Mutteri: M6, ISO 4032-M6-8.8

Jarrupuolen jarrutusakseli kokoonpano: AABA-6020 osalista

Osanumero:	Osan nimitys: aihio, standardi, materiaali
AABA-6021	Mattorullan sisäputken pyörityslaippa: Ø115x5, SFS-EN 10025, S235JRG2
AABA-6022	Akseli: Ø40x172, SFS-EN10025. S355J0/E295
AABA-6023	Vapautin laippa: Ø80x5,0, SFS-EN 10025, S235JRG2

Mattorullan nostin, oikea kokoonpano: AABA-7000 osalista

Osanumero:	Osan nimitys: aihio, standardi, materiaali
AABA-7010	Tukiputki: Ø40x650 6,4 kg, SFS-EM 10025, S235JRG2
AABA-7020	Nostin sivulevy oikea: 1000x218x3,0 1,6 kg, SFS-EN 19925, S235JRG2
AABA-7030	Nostolevy oikea: 1074x150x3,0 1,3 kg, SFS-EM10025, S235JRG2
AABA-7040	Nostimen linjuri oikea
AABA-7050	Ohjuri tasaaja luistiputki: Ø15,0x150 0,2 kg, SFS-EN 10025, S235JRG2

Mattorullan kannattimen tasaaja, oikea kokoonpano: AABA-7040 osalista

Osanumero:	Osan nimitys: aihio, standardi, materiaali
AABA-7041	Nostimen linjaaja sisäputki: 50x30x2,5x760, SFS-EN 10219-2, SFS 235
AABA-7042	Nostimen linjaaja tuki: 40x20x2,5x304, SFS-EN 10219-2, SFS 235
AABA-7043	Nostimen linjaajan sivuluisti: Ø26,6x2,0x60, SFS-EN 10219-2, SFS 235
AABA-7044	Nostimen luisti: 60x40x4,0x70, SFS-EN 10219-2, SFS 235
AABA-7045	Nostimen luistin kiinnike: Ø21,3x3,0x50, SFS-EN 10219-2, SFS 235

Mattorullan nostin, vasen kokoonpano: AABA-8000 osalista

Osanumero:	Osan nimitys: aihio, standardi, materiaali
AABA-8010	Tukiputki: Ø40x650, SFS-EN 10025, S235JRG2
AABA-8020	Nostin sivulevy vasen: 1000x218x3,0, SFS-EN 10025, S235JRG2
AABA-8030	Nostolevy vasen: 1074x150x3,0, SFS-EN 10025, S235JRG2
AABA-8040	Nostimen ohjuri vasen
AABA-8050	Ohjuri tasaaja luistiputki: Ø15,0x150, SFS-EN 10025, S235JRG2

Mattorullan kannattimen tasaaja, vasen kokoonpano: AABA-8040 osalista

Osanumero:	Osan nimitys: aihio, standardi, materiaali
AABA-8041	Nostimen linjaaja sisäputki: 50x30x2,5x760
AABA-8042	Nostimen linjaaja tuki: 40x20x2,5x304
AABA-8043	Nostimen linjaajan sivuluisti: Ø26,6x2,0x60
AABA-8044	Nostimen luisti: 60x40x4,0x70
AABA-8045	Nostimen luistin kiinnike: Ø21,3x3,0x50

Ohjuri, oikea kokoonpano: AABA-9000 osalista

Osanumero:	Osan nimitys: aihio, standardi, materiaali
AABA-9011	Ohjurin vaakaputki oikea: 60x40x3x670, SFS-EN 10219-2, SFS 235
AABA-9020	Ohjurin pystyputki oikea: 60x40x3,0x170, SFS-EN 10219-2, SFS 235
AABA-9030	Ohjuri oikea: 300x325x3,0, SFS-EN 10025, S235JRG2

Ohjuri, vasen kokoonpano: AABA-10000

Osanumero:	Osan nimitys: aihio, standardi, materiaali
AABA-10011	Ohjurin vaakaputki vasen: 60x40x3x670, SFS-EN 10219-2, SFS 235
AABA-10020	Ohjurin pystyputki vasen: 60x40x3,0x170, SFS-EN 10219-2, SFS 235
AABA-10030	Ohjuri vasen: 300x325x3,0, SFS-EN 10025, S235JRG2

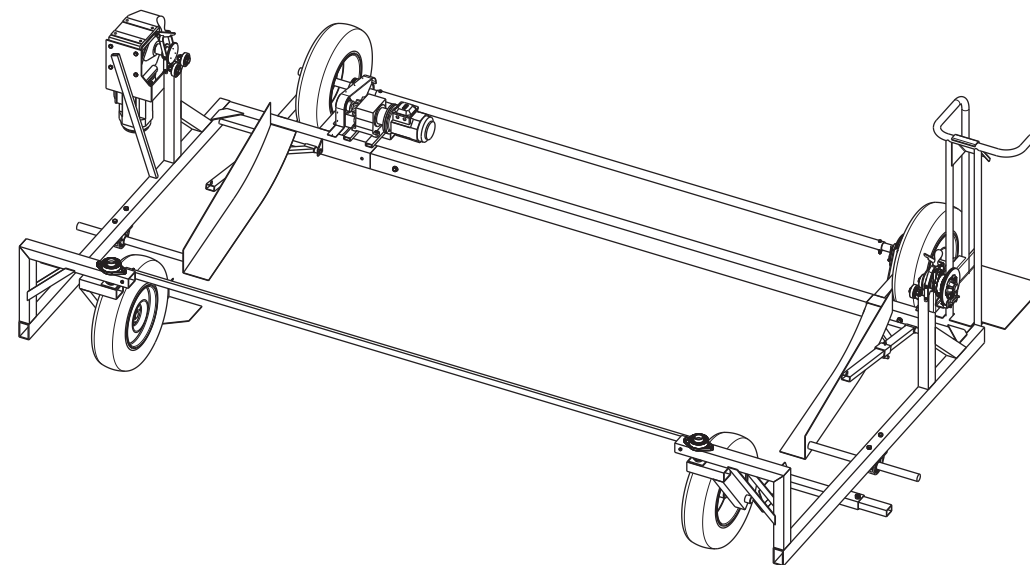
Ketjusuoja kokoonpano: AABA-2210 osalista

Osanumero:	Osan nimitys: aihio, standardi, materiaali
AABA-1211	Ketjusuoja, sivulevy: 179x354x2,0, SFS-EN 10025, S235JRG2
AABA-1212	Ketjusuoja, yläosa: 150x600x2, SFS-EM10024, S235JRG2

AABA-0000	Pääkokoonpano
AABA-1000	Runko
AABA-2000	Eturenkaiden ripustus oikea
AABA-3000	Eturenkaiden ripustus vasen
AABA-4000	Taka-akseli
AABA-5000	Mattorullan kannatin, vetopuoli
AABA-6000	Mattorullan kannatin, jarrupuoli
AABA-7000	Nostin oikea
AABA-8000	Nostin vasen
AABA-9000	Ohjuri oikea
AABA-10000	Ohjuri vasen
AABA-1020	Vaakapalkki
AABA-1060	Ohjaajan taso
AABA-2210	Ketjusuoja
AABA-4100	Takakannatus
AABA-4200	Takaripustus vasen
AABA-5010	Mattorulla tuki oikea
AABA-5030	Vedon lukitsin ja vapautin vipu
AABA-6010	Mattorullan tukirunko, jarrupuoli
AABA-6020	Jarruakseli
AABA-7040	Nostimen linjuri oikea
AABA-8040	Nostimen linjuri vasen


Kiristetään 41 Nm

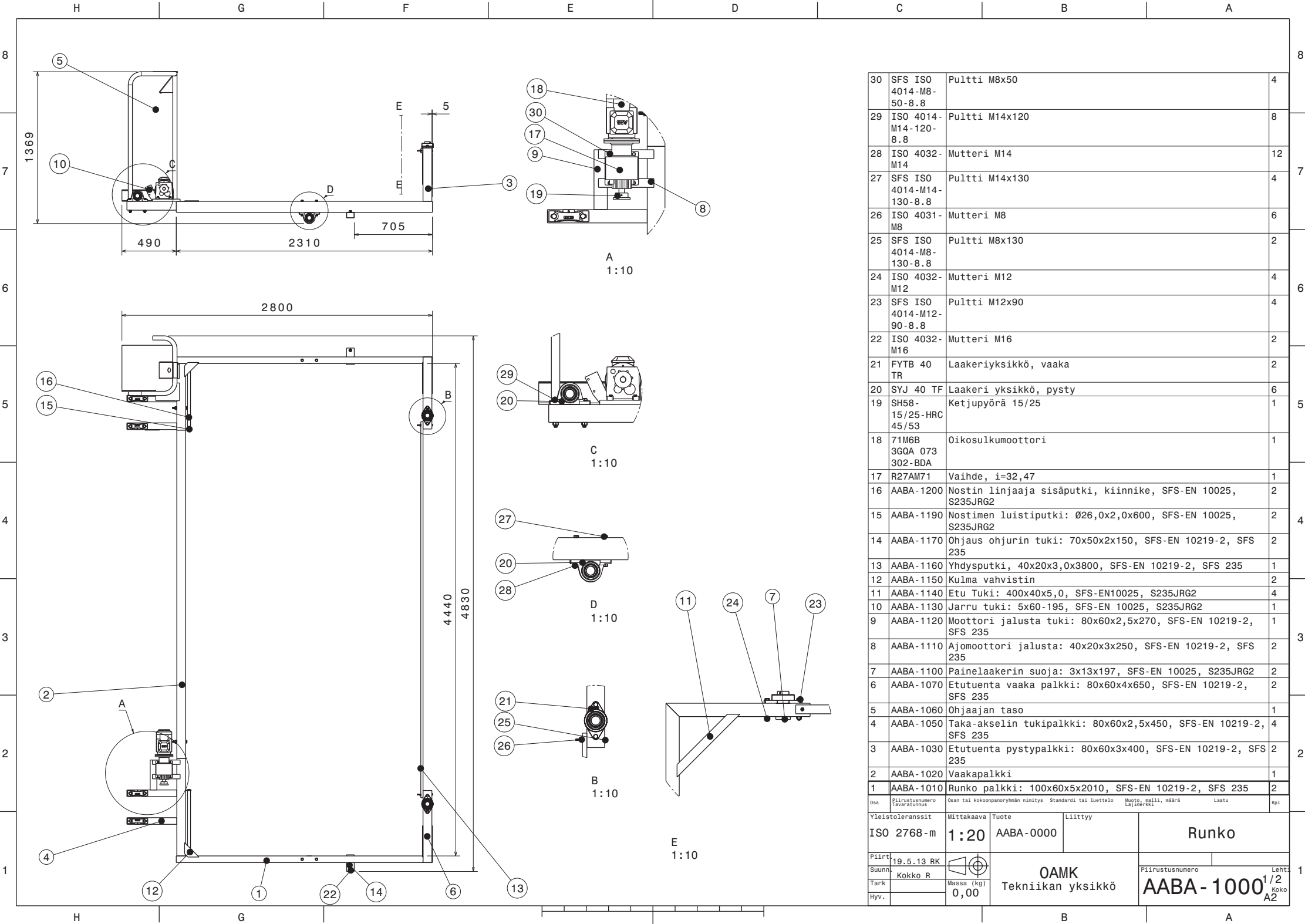
Asetetaan
maton mukaan



Kiristetään 21 Nm

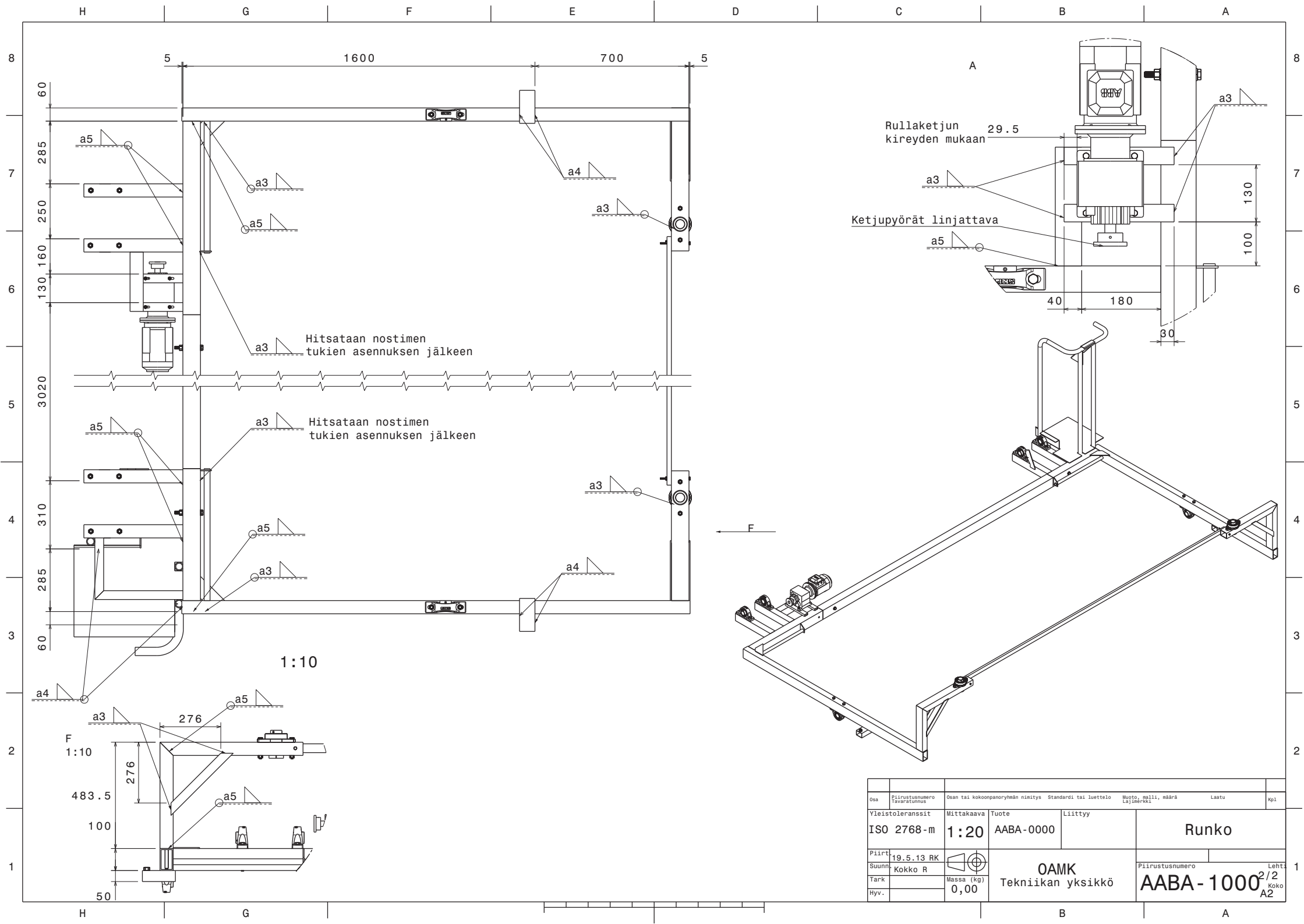
B-B
1:10

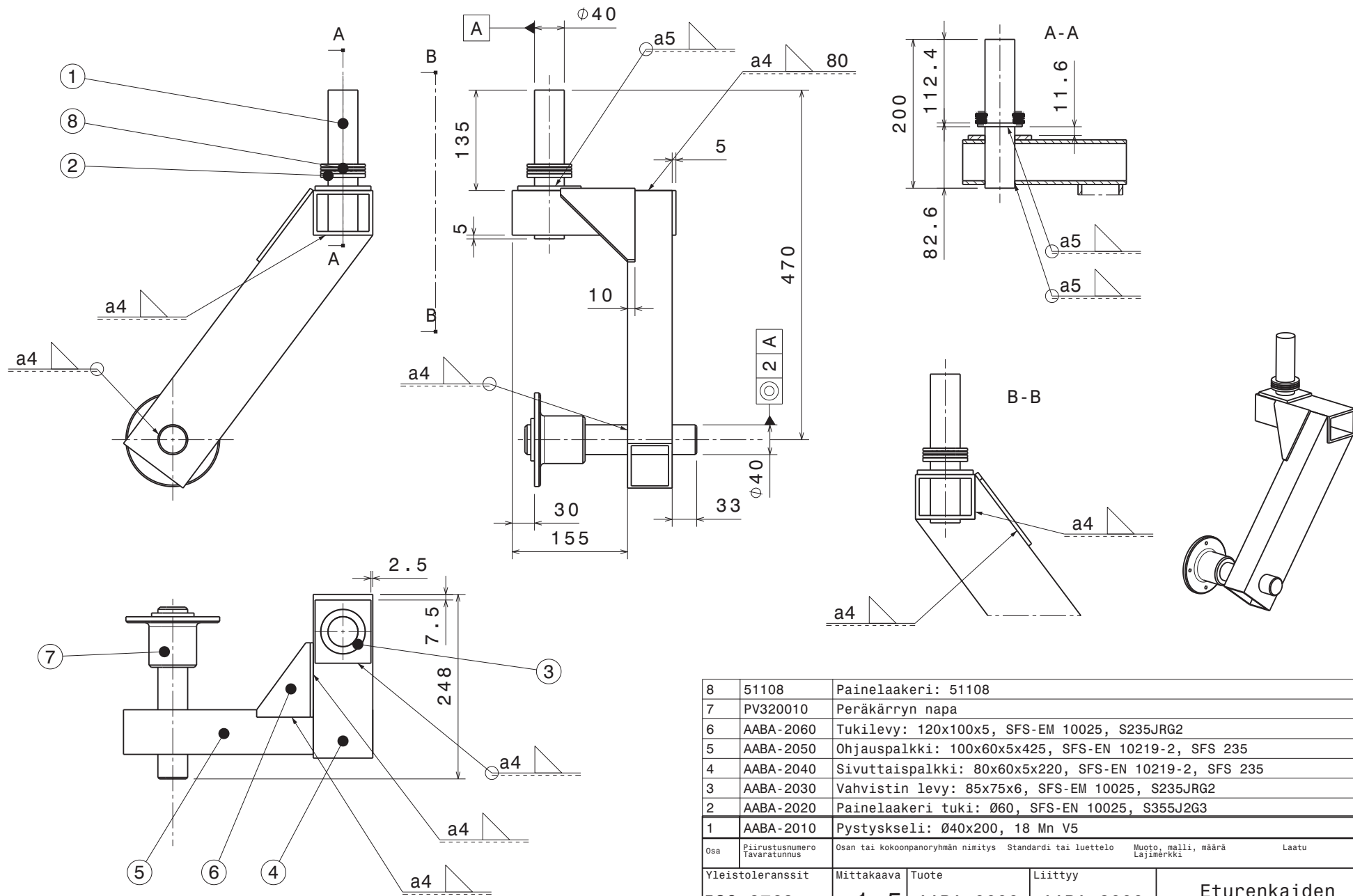
19	SFS ISO 4014-M10-30-8.8	Pultti M10, Renkaiden kiinnitys			16
17	ISO 4031-M8	Mutteri M8, Jarrusatulan kiinnitys			2
16	SFS ISO 4014-M8-50-8.8	Pultti M8x50, Jarrusatulan kiinnitys			2
15	DIN 8187 500-762 mm	Rullaketju, DIN 8187			1
14	K879N	Jarrusatula, Righetti Ridolfi			1
13	145R13C8	Peräkärryn rengas: 145R13C8			4
12	AABA-2210	Ketjusuoja			1
11	AABA-1180	Pystypalkin tuki: 80x60x2x505, SFS-EN 10219-2, SFS 235			2
10	AABA-10000	Ohjuri vasen			1
9	AABA-9000	Ohjuri oikea			1
8	AABA-8000	Nostin vasen			1
7	AABA-7000	Nostin oikea			1
6	AABA-6000	Mattorullan kannatin, jarrupuoli			1
5	AABA-5000	Mattorullan kannatin, vetopuoli			1
4	AABA-4000	Taka-akseli			1
3	AABA-3000	Eturipustus vasen			1
2	AABA-2000	Eturenkaiden ripustus oikea			1
1	AABA-1000	Runko			1
Osa	Piirustusnumero Tavaramuoto	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys Standardi tai luettelo		Muoto, malli, määrä Lajitelma	Laatu Kpl
Yleistoleranssit		Mittakaava	Tuote	Liittyy	
ISO 2768-m		1:20	Tekonurmi- maton rullaus- ja purkulaite	Pääkokoonpano	
Piirt. Suunn.	20.5.13 RK Kokko R		OAMK		Piirustusnumero
Tark.			Tekniikan yksikkö		Lehti
Hyv.					Koko A2
		900	AABA-0000 ^{1/1}		



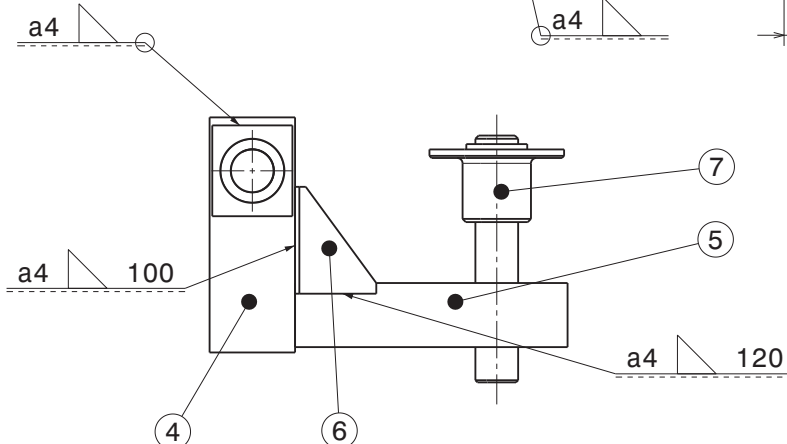
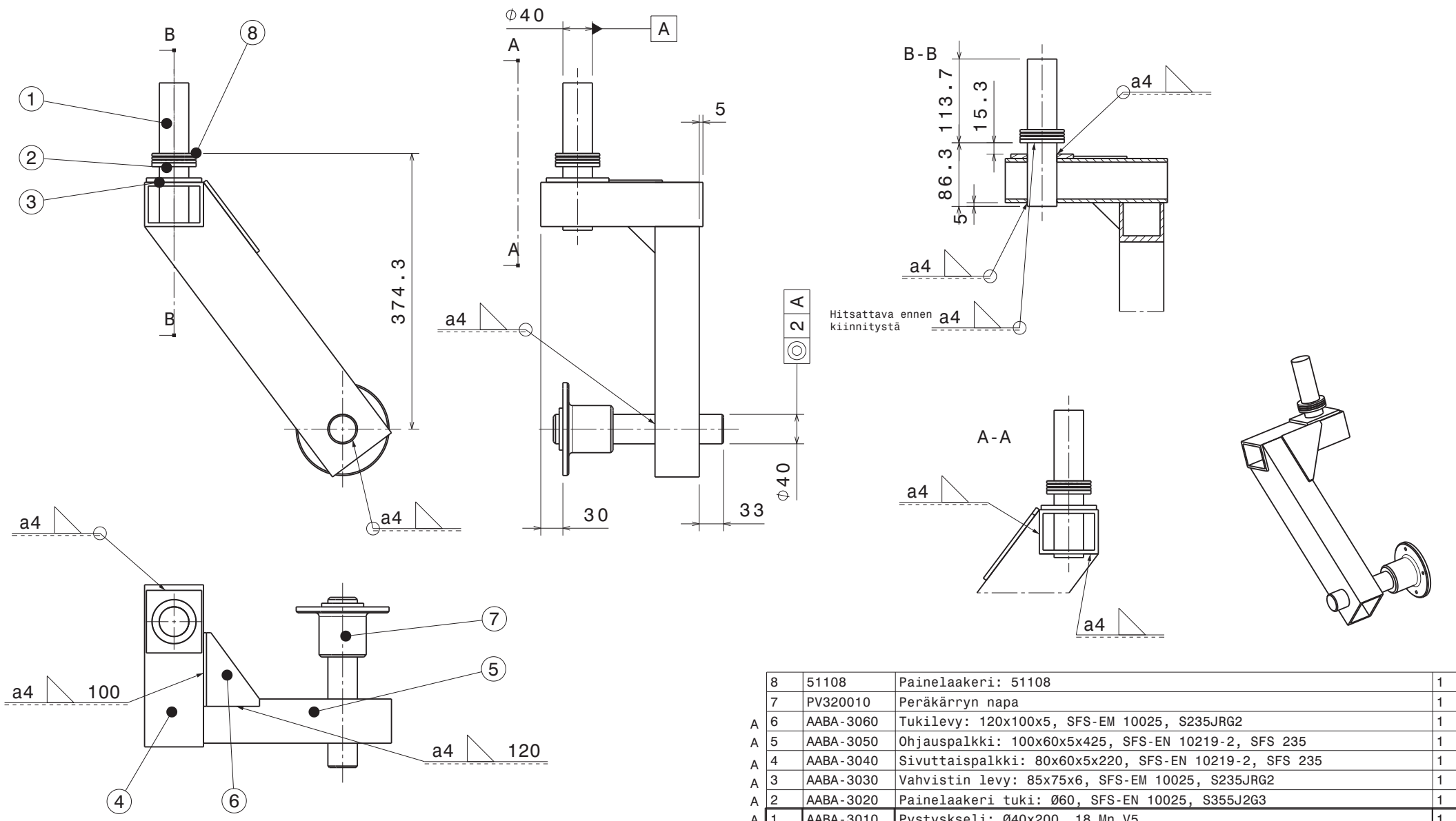
30	SFS ISO 4014-M8-50-8.8	Pultti M8x50	4
29	ISO 4014-M14-120-8.8	Pultti M14x120	8
28	ISO 4032-M14	Mutteri M14	12
27	SFS ISO 4014-M14-130-8.8	Pultti M14x130	4
26	ISO 4031-M8	Mutteri M8	6
25	SFS ISO 4014-M8-130-8.8	Pultti M8x130	2
24	ISO 4032-M12	Mutteri M12	4
23	SFS ISO 4014-M12-90-8.8	Pultti M12x90	4
22	ISO 4032-M16	Mutteri M16	2
21	FYTB 40 TR	Laakeriyksikkö, vaaka	2
20	SYJ 40 TF	Laakeri yksikkö, pysty	6
19	SH58-15/25-HRC 45/53	Ketjupyörä 15/25	1
18	71M6B 3GQA 073 302-BDA	Oikosulkumoottori	1
17	R27AM71	Vaihte, i=32,47	1
16	AABA-1200	Nostin linjaaja sisäputki, kiinnike, SFS-EN 10025, S235JRG2	2
15	AABA-1190	Nostimen luistiputki: Ø26,0x2,0x600, SFS-EN 10025, S235JRG2	2
14	AABA-1170	Ohjaus ohjurin tuki: 70x50x2x150, SFS-EN 10219-2, SFS 235	2
13	AABA-1160	Yhdysputki, 40x20x3,0x3800, SFS-EN 10219-2, SFS 235	1
12	AABA-1150	Kulma vahvistin	2
11	AABA-1140	Etu Tuki: 400x40x5,0, SFS-EN10025, S235JRG2	4
10	AABA-1130	Jarru tuki: 5x60-195, SFS-EN 10025, S235JRG2	1
9	AABA-1120	Moottori jalusta tuki: 80x60x2,5x270, SFS-EN 10219-2, SFS 235	1
8	AABA-1110	Ajomoottori jalusta: 40x20x3x250, SFS-EN 10219-2, SFS 235	2
7	AABA-1100	Painelaakerin suoja: 3x13x197, SFS-EN 10025, S235JRG2	2
6	AABA-1070	Etutuenta vaaka palkki: 80x60x4x650, SFS-EN 10219-2, SFS 235	2
5	AABA-1060	Ohjaajan taso	1
4	AABA-1050	Taka-akselin tukipalkki: 80x60x2,5x450, SFS-EN 10219-2, SFS 235	4
3	AABA-1030	Etutuenta pystypalkki: 80x60x3x400, SFS-EN 10219-2, SFS 235	2
2	AABA-1020	Vaakapalkki	1
1	AABA-1010	Runko palkki: 100x60x5x2010, SFS-EN 10219-2, SFS 235	2

Osa	Piirustusnumero	Päiväys	Osa tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, määrä	Laatu	Kpl
Yleistoleranssit	Mittakaava	Tuote	Liittyy	Runko			
ISO 2768-m	1:20	AABA-0000					
Piirt.	19.5.13 RK	OAMK Tekniikan yksikkö	Piirustusnumero	AABA-1000 ^{1/2}			
Suunn.	Kokko R			A2			
Tark.							
Hyv.							



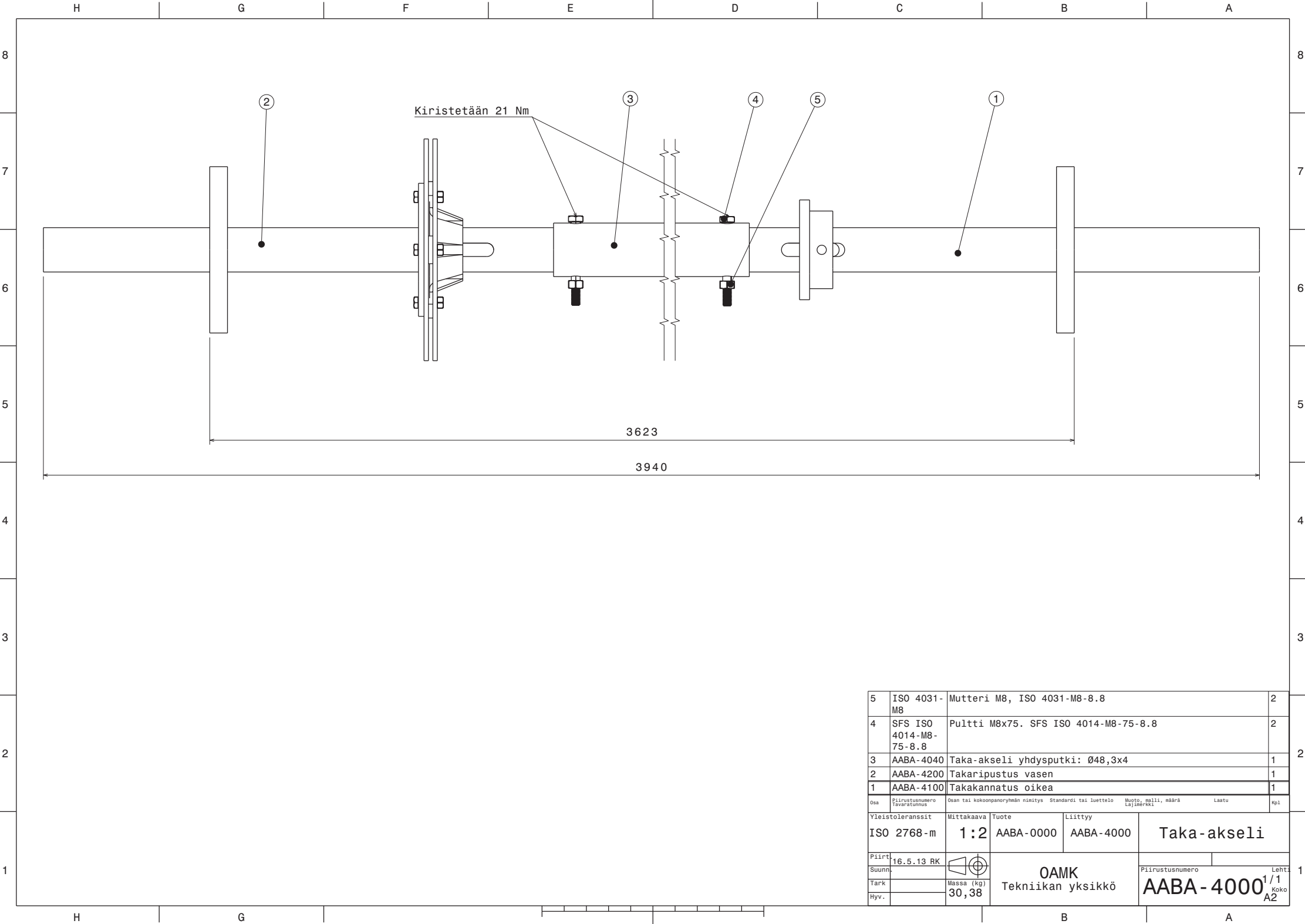



8	51108	Painelaakeri: 51108				1			
7	PV320010	Peräkärryn napa				1			
6	AABA-2060	Tukilevy: 120x100x5, SFS-EM 10025, S235JRG2				1			
5	AABA-2050	Ohjauspalkki: 100x60x5x425, SFS-EN 10219-2, SFS 235				1			
4	AABA-2040	Sivuttaispalkki: 80x60x5x220, SFS-EN 10219-2, SFS 235				1			
3	AABA-2030	Vahvistin levy: 85x75x6, SFS-EM 10025, S235JRG2				1			
2	AABA-2020	Painelaakeri tuki: Ø60, SFS-EN 10025, S355J2G3				1			
1	AABA-2010	Pystyskseli: Ø40x200, 18 Mn V5				1			
Osa	Piirustusnumero Tavaratunnus	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys		Standardi tai luettelo	Muoto, malli, määrä Lajimerkki	Laatu	Kpl		
Yleistoleranssit		Mittakaava	Tuote	Liittyy	Eturenkaiden riipustus oikea				
ISO 2768-m		1:5	AABA-0000	AABA-2000					
Piirt.	16.5.2013 RK		OAMK Tekniikan yksikkö		AABA-2000 ^{1/1} Koko A3		Leht: Pii		
Suunn.	Kokko R								
Tark									
Hyv.									
		Massa (kg)							
		13,4							

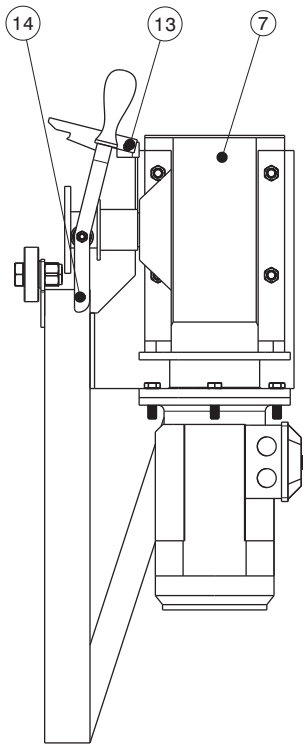


A	6	AABA-3060	AABA-2060
	5	AABA-3050	AABA-2050
	4	AABA-3040	AABA-2040
	3	AABA-3030	AABA-2030
	2	AABA-3020	AABA-2020
	1	AABA-3010	AABA-2010
Osa	Piirustus numero		Vastaava osa

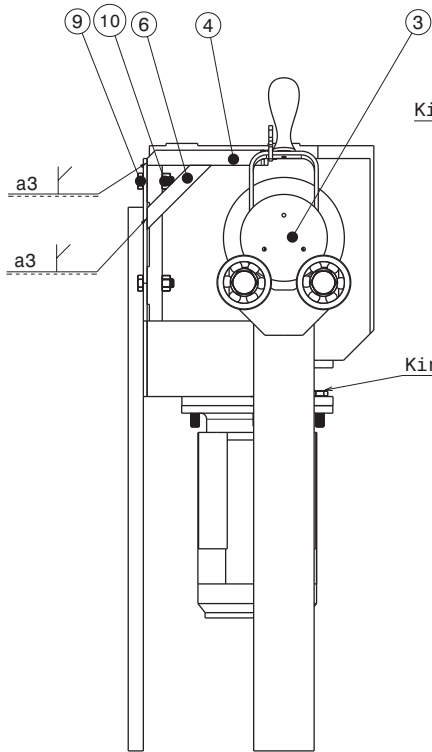
8	51108	Painelaakeri: 51108				1		
7	PV320010	Peräkärryn napa				1		
6	AABA-3060	Tukilevy: 120x100x5, SFS-EM 10025, S235JRG2				1		
5	AABA-3050	Ohjauspalkki: 100x60x5x425, SFS-EN 10219-2, SFS 235				1		
4	AABA-3040	Sivuttaispalkki: 80x60x5x220, SFS-EN 10219-2, SFS 235				1		
3	AABA-3030	Vahvistin levy: 85x75x6, SFS-EM 10025, S235JRG2				1		
2	AABA-3020	Painelaakeri tuki: Ø60, SFS-EN 10025, S355J2G3				1		
1	AABA-3010	Pystyskeli: Ø40x200, 18 Mn V5				1		
Osa	Piirustusnumero Tavaratunnus	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys		Standardi tai luettelo	Muoto, malli, määrä Lajimerkki	Laatu	Kpl	
Yleistoleranssit		Mittakaava	Tuote	Liittyy	Eturipustus vasen			
ISO 2768-m		1:5	AABA-0000	AABA-3000				
Piirt.	16.5.2013 RK		OAMK Tekniikan yksikkö		Piirustusnumero AABA-3000 ^{1/1} Koko A3			
Suunn.	Kokko R							Lehti:
Tark.								
Hyv.								
		Massa (kg) 13,38						



5	ISO 4031-M8	Mutteri M8, ISO 4031-M8-8.8				2	
4	SFS ISO 4014-M8-75-8.8	Pultti M8x75. SFS ISO 4014-M8-75-8.8				2	
3	AABA-4040	Taka-akseli yhdysputki: Ø48,3x4				1	
2	AABA-4200	Takaripustus vasen				1	
1	AABA-4100	Takakannatus oikea				1	
Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys		Standardi tai luettelo	Nuoto, malli, määrä	Laatu	Kpl
Yleistoleranssit		Mittakaava	Tuote	Liittyy	Taka-akseli		
ISO 2768-m		1:2	AABA-0000	AABA-4000			
Piirt.	16.5.13 RK	<div>OAMK</div> <div>Tekniikan yksikkö</div>			Piirustusnumero		Lehti
Suunn.					1/1		
Tark.	Massa (kg)				Koko		
Hyv.	30,38				A2		
		AABA-4000					

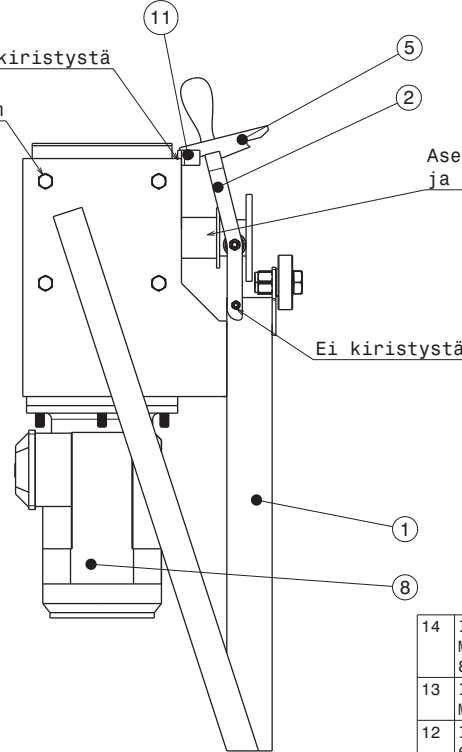


Right view
Scale: 1:5



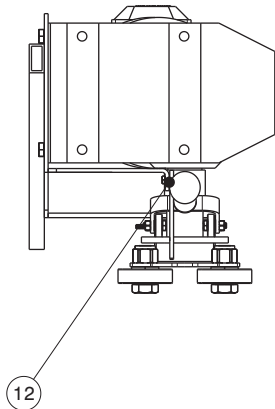
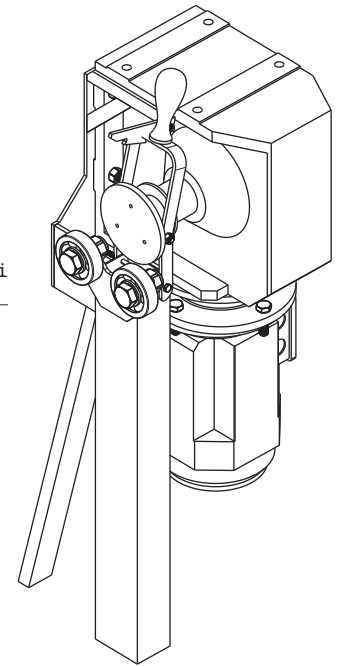
Ei kiristystä
Kiristetään: 72 Nm

Kiristetään: 72 Nm



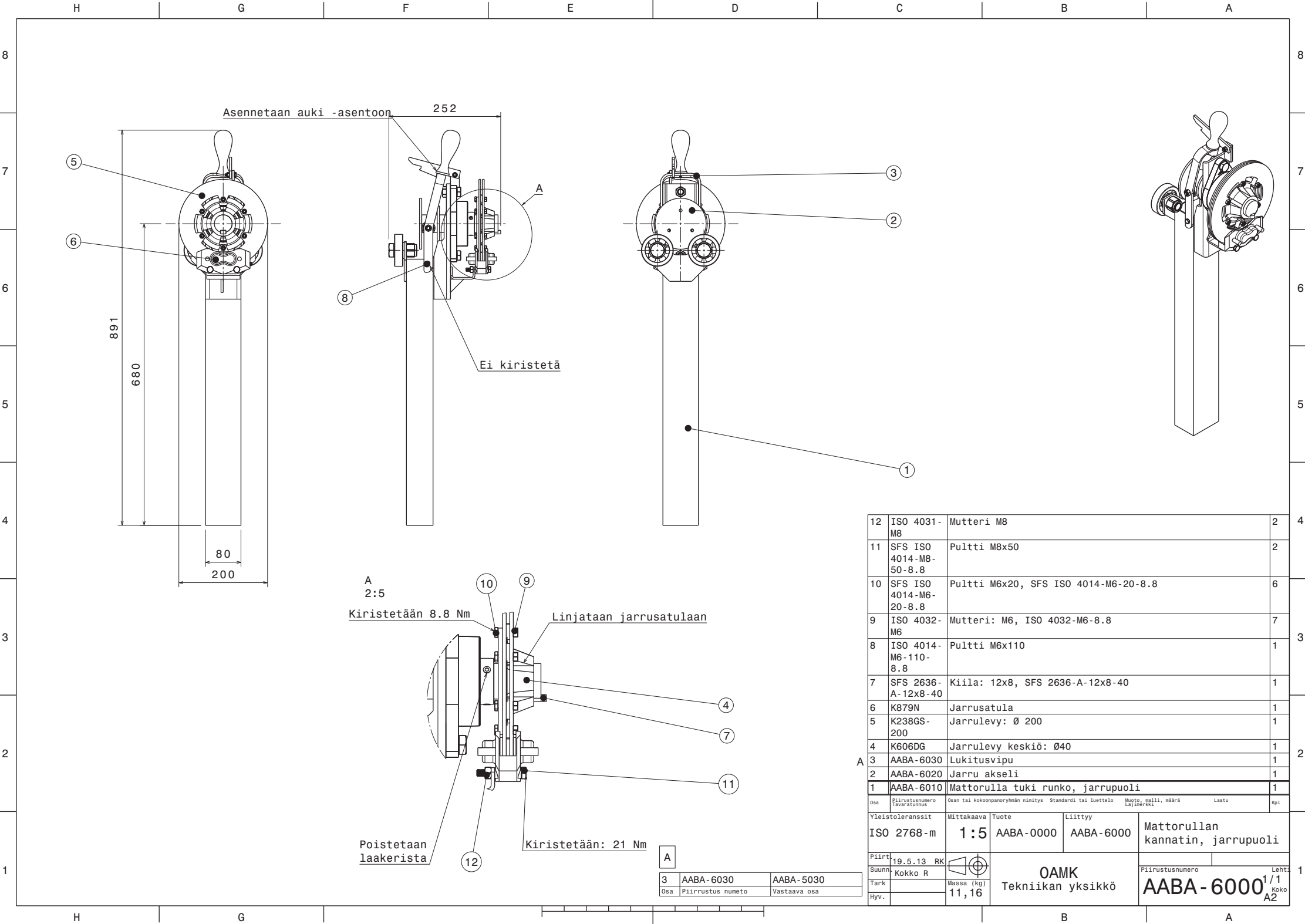
Asennettava ennen vedon lukitsi
ja vapautin vipua

Ei kiristystä




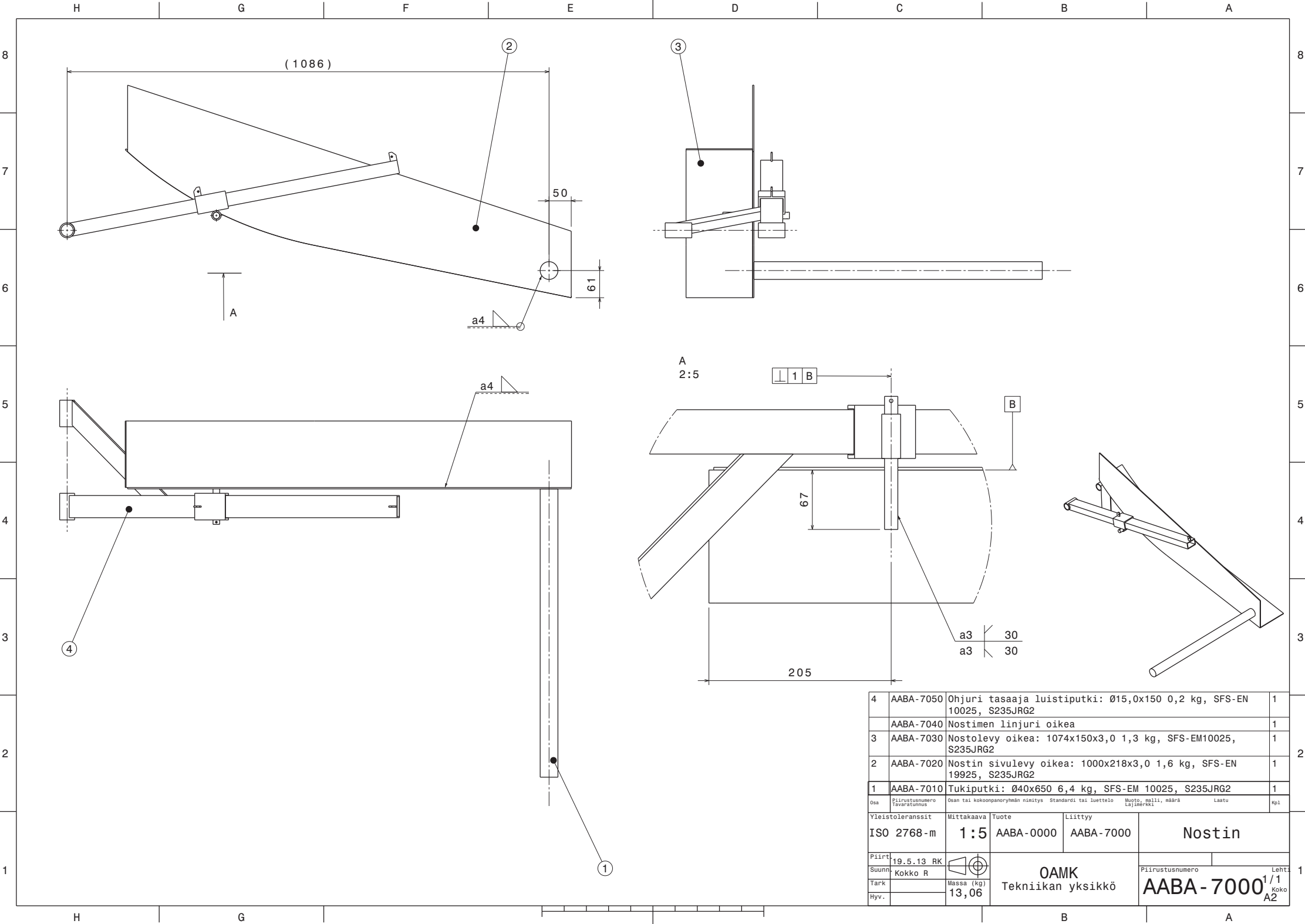
14	ISO 4014-M6-110-8.8	Pultti M6x110	1
13	ISO 4032-M6	Mutteri: M6, ISO 4032-M6-8.8	2
12	ISO 7090-6	Aluslevy M6	1
11	SFS ISO 4014-M6-20-8.8	Pultti M6x20, SFS ISO 4014-M6-20-8.8	1
10	ISO 4032-M12	Mutteri M12	4
9	SFS ISO 4014-M12-40-8.8	Pultti M12x40	8
8	M2QA 80M6A 3GQA 083 301 – BD	Oikosulkumoottori	1
7	S77AM80	Kulmavaihde, SEW-Eurodrive S77AM80	1
6	AABA-5070	Lukitsimen tuki, vetopuoli: 120x20x5,0, SFS-EN 10025, S235JRG2	1
5	AABA-5060	Lukitsin: 120x30x5,0, SFS-EN 10025, S235JRG2	1
4	AABA-5050	Lukitsin tuki: 180x20x5,0, SFS-EN 10025, S235JRG2	1
3	AABA-5040	Vetoakseli: Ø115x97, SFS-EN 10025, S235JRG2	1
2	AABA-5030	Vedon lukitsin ja vapautin vipu	1
1	AABA-5010	Mattorulla tuki oikea	1

Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Nuoto, malli, määrä	Laatu	Kpl
Yleistoleranssit	Mittakaava	Tuote	Liittyy	Mattorullan kannatin, vetopuoli		
ISO 2768-m	1:5	AABA-0000	AABA-0000			
Piirt.	18.5.13 RK	OAMK Tekniikan yksikkö	Piirustusnumero	AABA-5000		
Suunn.	Kokko R			1/1		
Tark.				A2		
Hyv.						

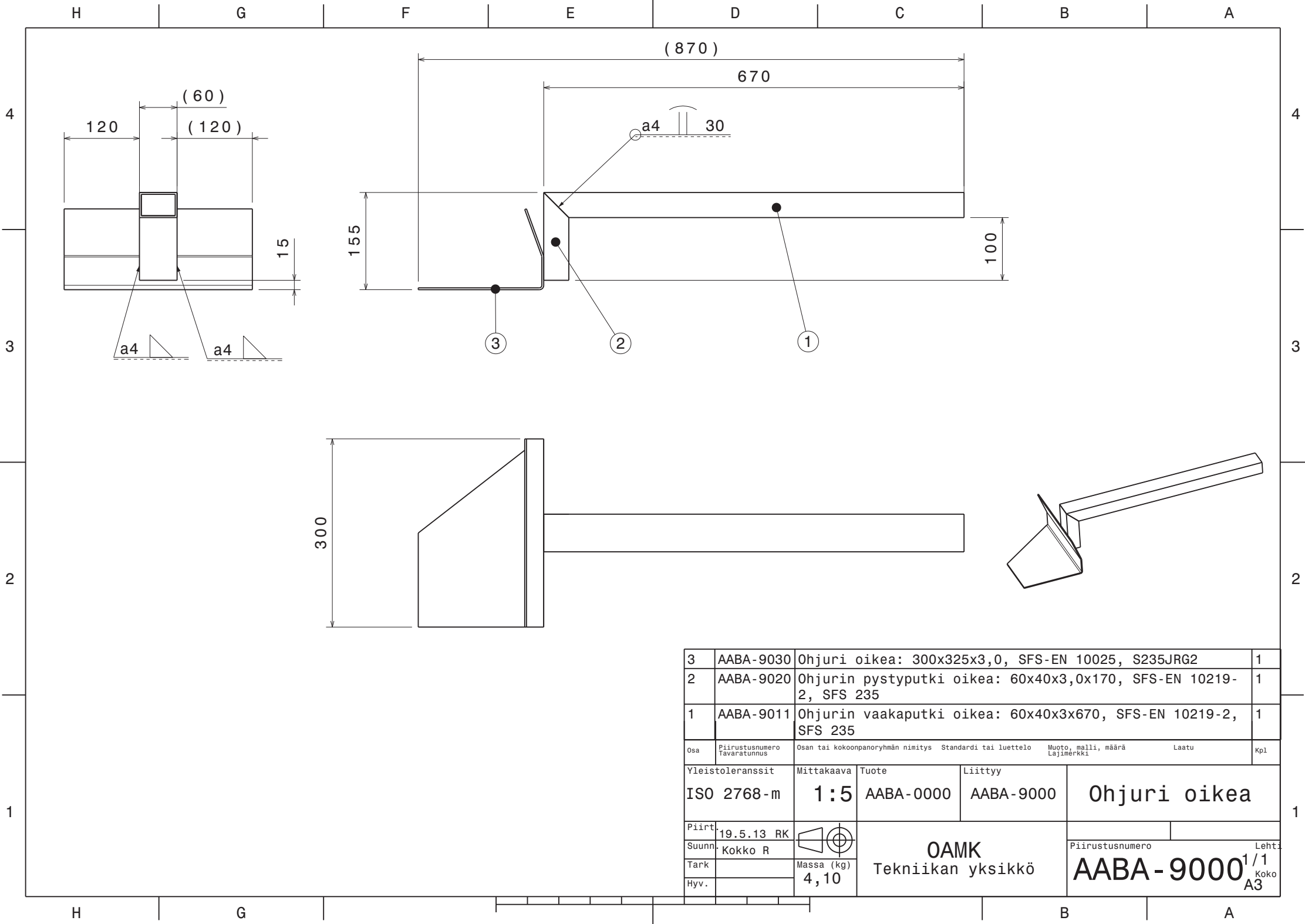


12	ISO 4031-M8	Mutteri M8	2
11	SFS ISO 4014-M8-50-8.8	Pultti M8x50	2
10	SFS ISO 4014-M6-20-8.8	Pultti M6x20, SFS ISO 4014-M6-20-8.8	6
9	ISO 4032-M6	Mutteri: M6, ISO 4032-M6-8.8	7
8	ISO 4014-M6-110-8.8	Pultti M6x110	1
7	SFS 2636-A-12x8-40	Kiila: 12x8, SFS 2636-A-12x8-40	1
6	K879N	Jarrusatula	1
5	K238GS-200	Jarrulevy: Ø 200	1
4	K606DG	Jarrulevy keskiö: Ø40	1
3	AABA-6030	Lukitusvipu	1
2	AABA-6020	Jarru akseli	1
1	AABA-6010	Mattorulla tuki runko, jarrupuoli	1

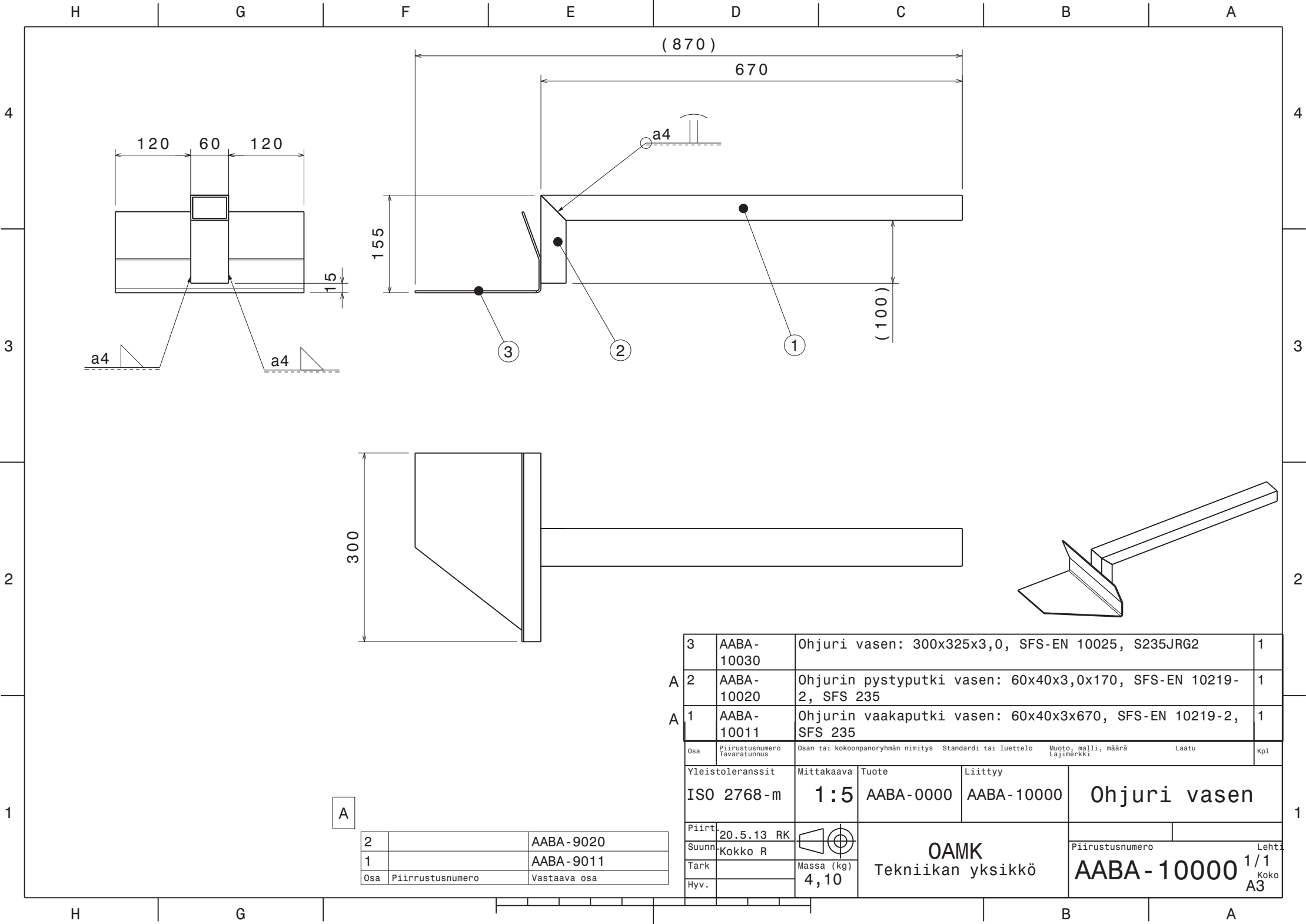
Osa	Piirustusnumero Tavaratunnus	Osa tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, määrä Lajitelma	Laatu	Kpl
Yleistoleranssit	Mittakaava	Tuote	Liittyy	Mattorullan kannatin, jarrupuoli		
ISO 2768-m	1:5	AABA-0000	AABA-6000			
Piirt.	19.5.13 RK				Piirustusnumero	
Suunn.	Kokko R				AABA-6000	
Tark.		Massa (kg)	OAMK Tekniikan yksikkö		Lehti	
Hyv.		11,16			1/1	
			Koko		A2	



4	AABA-7050	Ohjuri tasaaja luistiputki: Ø15,0x150 0,2 kg, SFS-EN 10025, S235JRG2			1
	AABA-7040	Nostimen linjuri oikea			1
3	AABA-7030	Nostolevy oikea: 1074x150x3,0 1,3 kg, SFS-EM10025, S235JRG2			1
2	AABA-7020	Nostin sivulevy oikea: 1000x218x3,0 1,6 kg, SFS-EN 19925, S235JRG2			1
1	AABA-7010	Tukiputki: Ø40x650 6,4 kg, SFS-EM 10025, S235JRG2			1
Osa	Piirustusnumero Pöytävarustus	Osa tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Nuoto, malli, määrä Lajamerkki	Laatu Kpl
Yleistoleranssit ISO 2768-m		Mittakaava 1:5	Tuote AABA-0000	Liittyy AABA-7000	Nostin
Piirt.	19.5.13 RK		OAMK Tekniikan yksikkö		Piirustusnumero
Suunn.	Kokko R				Lehti
Tark.					
Hyv.		Massa (kg) 13,06	AABA-7000 ^{1/1} Koko A2		




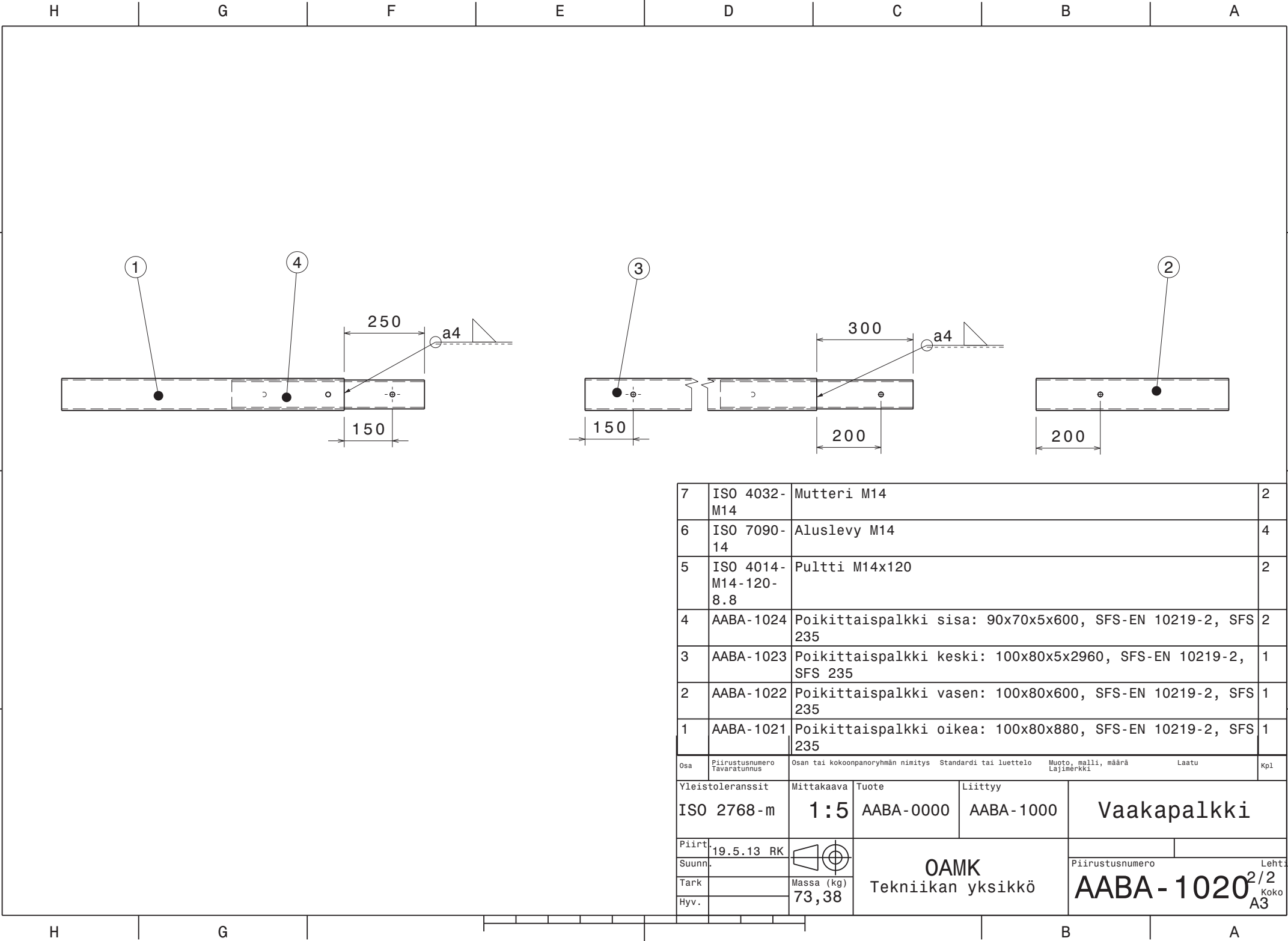
3	AABA-9030	Ohjuri oikea: 300x325x3,0, SFS-EN 10025, S235JRG2				1	
2	AABA-9020	Ohjurin pystyputki oikea: 60x40x3,0x170, SFS-EN 10219-2, SFS 235				1	
1	AABA-9011	Ohjurin vaakaputki oikea: 60x40x3x670, SFS-EN 10219-2, SFS 235				1	
Osa	Piirustusnumero Tavaratunnus	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys		Standardi tai luettelo	Muoto, malli, määrä Lajimerkki	Laatu	Kpl
Yleistoleranssit		Mittakaava	Tuote	Liittyy	Ohjuri oikea		
ISO 2768-m		1:5	AABA-0000	AABA-9000			
Piirt.	19.5.13 RK		OAMK Tekniikan yksikkö		Piirustusnumero	Lehti 1/1 Koko A3	
Suunn.	Kokko R						
Tark.							
Hyv.							
		Massa (kg)					
		4,10					

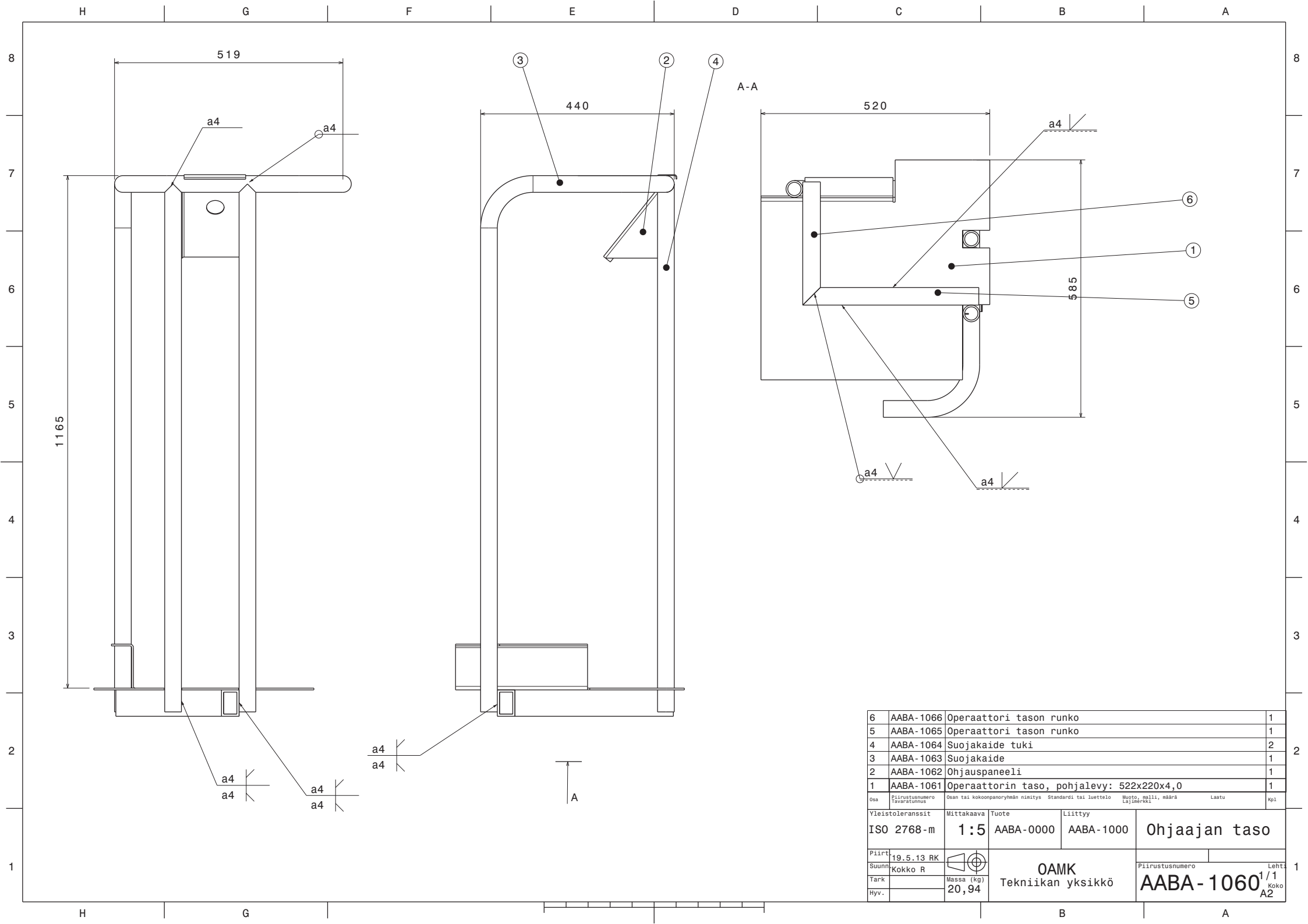


A

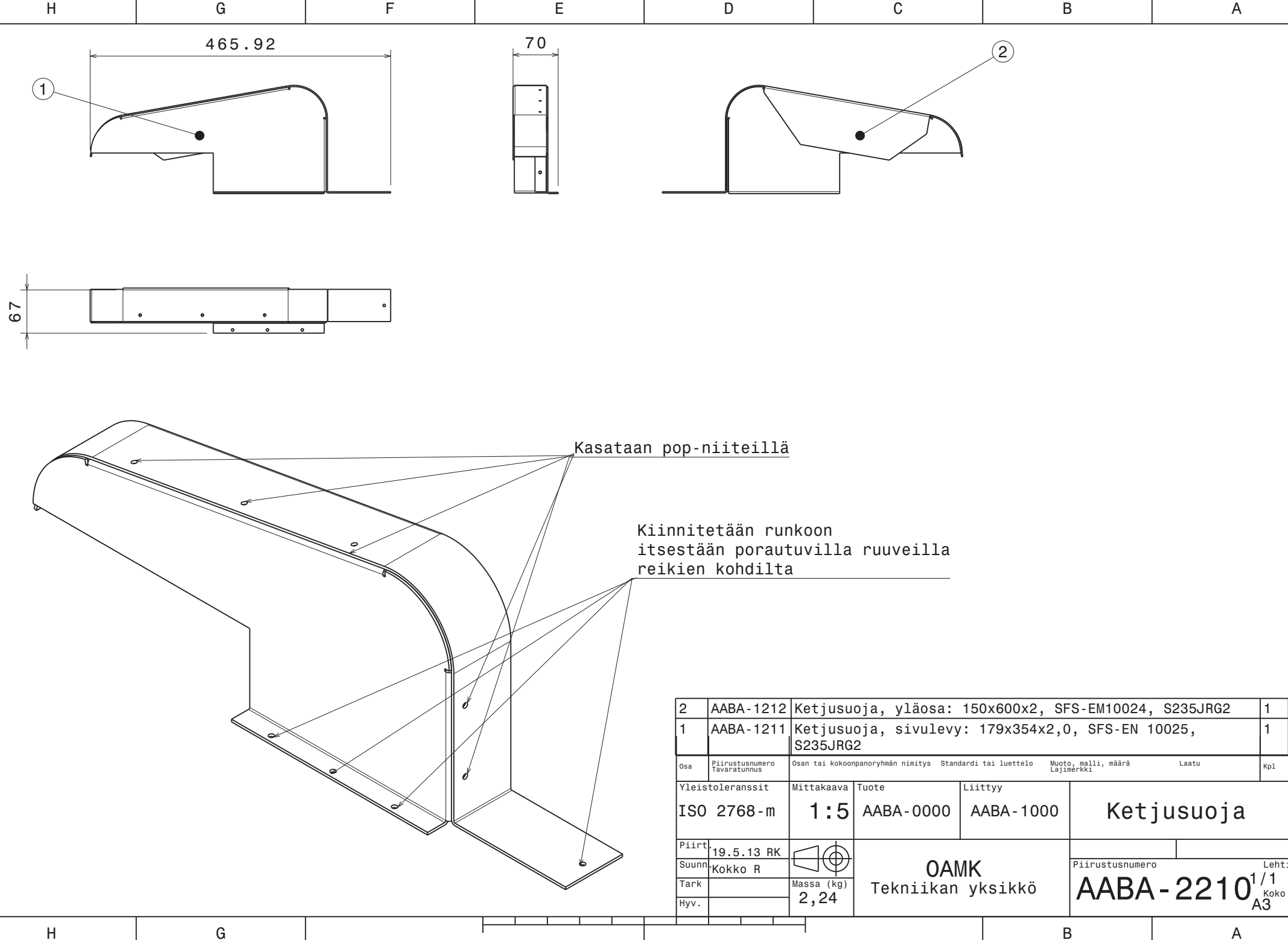
2		AABA-9020
1		AABA-9011
Osa	Piirustusnumero	Vastaava osa

3	AABA-10030	Ohjuri vasen: 300x325x3,0, SFS-EN 10025, S235JRG2				1	
2	AABA-10020	Ohjurin pystyputki vasen: 60x40x3,0x170, SFS-EN 10219-2, SFS 235				1	
1	AABA-10011	Ohjurin vaakaputki vasen: 60x40x3x670, SFS-EN 10219-2, SFS 235				1	
Osa	Piirustusnumero Tavaratunnus	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys		Standardi tai luettelo	Muoto, malli, määrä Lajimerkki	Laatu	Kpl
Yleistoleranssit		Mittakaava	Tuote	Liittyy	Ohjuri vasen		
ISO 2768-m		1:5	AABA-0000	AABA-10000			
Piirt.	20.5.13 RK		OAMK Tekniikan yksikkö				Lehti 1/1 Koko A3
Suunn.	Kokko R				Piirustusnumero		
Tark.							
Hyv.							
		Massa (kg) 4,10			AABA-10000		

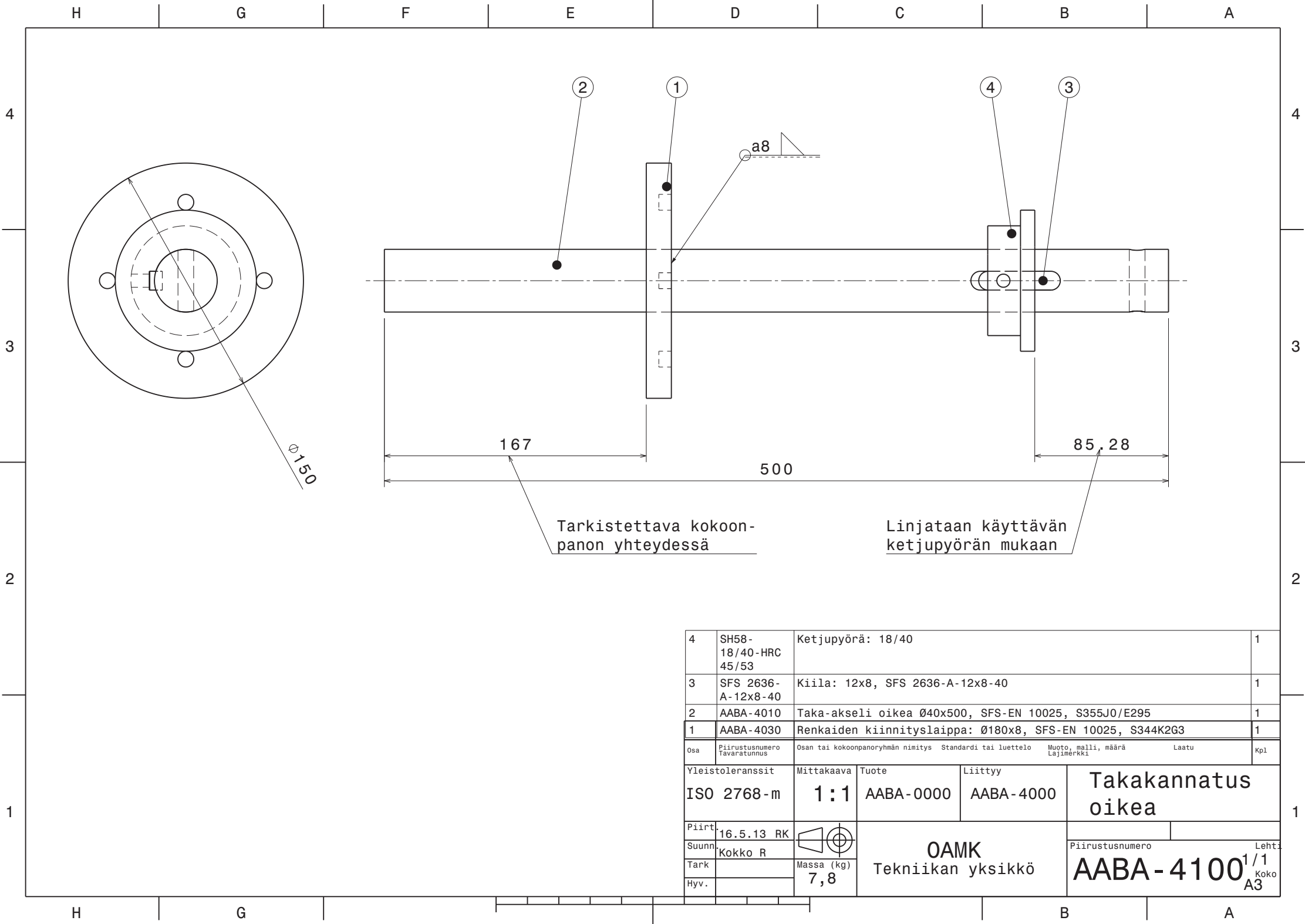




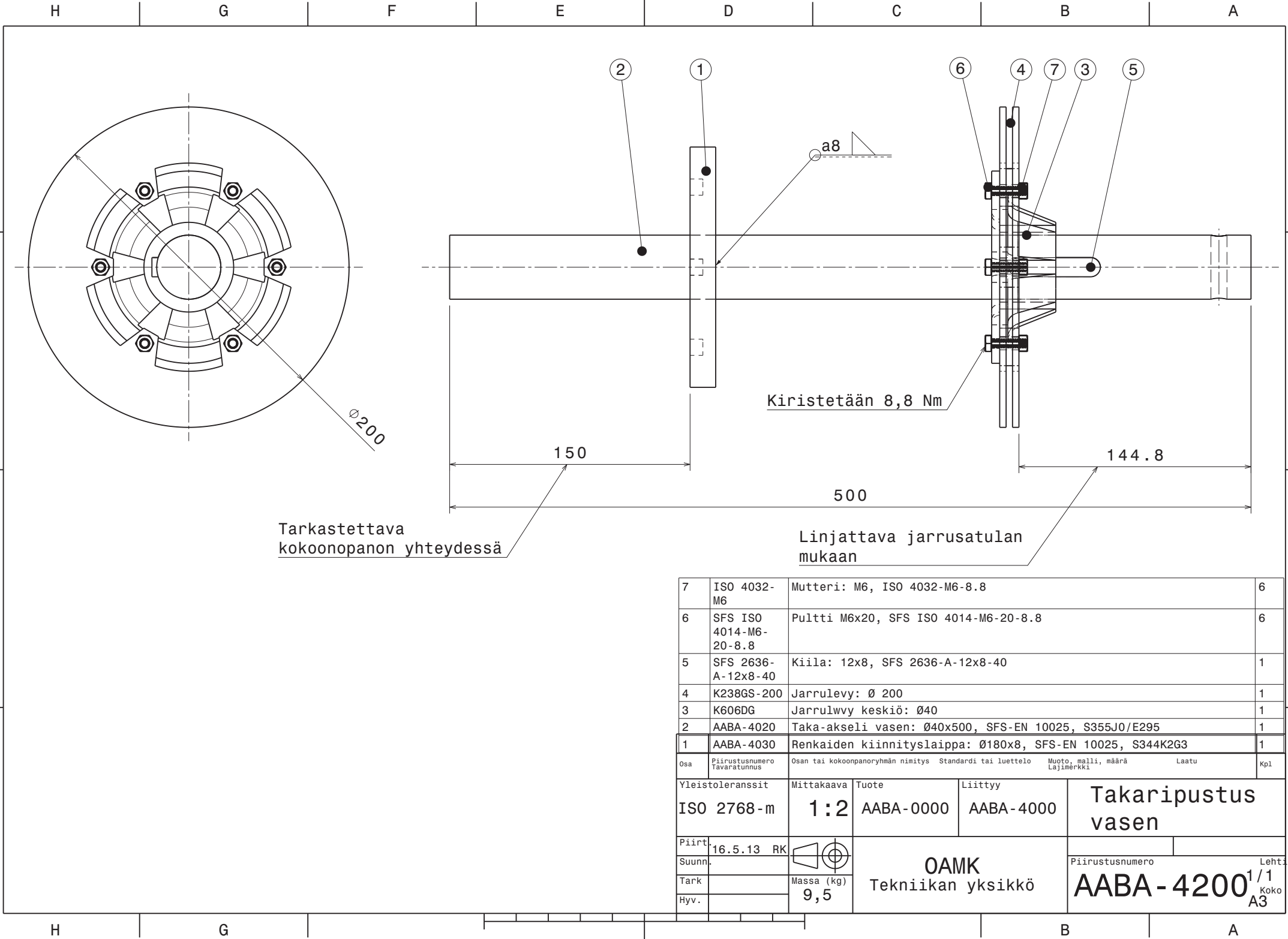
6	AABA-1066	Operaattori tason runko				1	
5	AABA-1065	Operaattori tason runko				1	
4	AABA-1064	Suojakaide tuki				2	
3	AABA-1063	Suojakaide				1	
2	AABA-1062	Ohjauspaneeli				1	
1	AABA-1061	Operaattorin taso, pohjalevy: 522x220x4,0				1	
Osa	Piirustusnumero Läpikäytös	Osa tai kokoonpanoryhmän nimitys		Standardi tai luettelo	Muoto, malli, määrä Lajimerkki	Laatu	Kpl
Yleistoleranssit		Mittakaava	Tuote	Liittyy	Ohjaajan taso		
ISO 2768 -m		1:5	AABA-0000	AABA-1000			
Piirt.	19.5.13 RK		OAMK Tekniikan yksikkö		Piirustusnumero AABA-1060		
Suunn.	Kokko R						
Tark.							
Hyv.							
		Massa (kg) 20,94			Lehti 1/1 Koko A2		

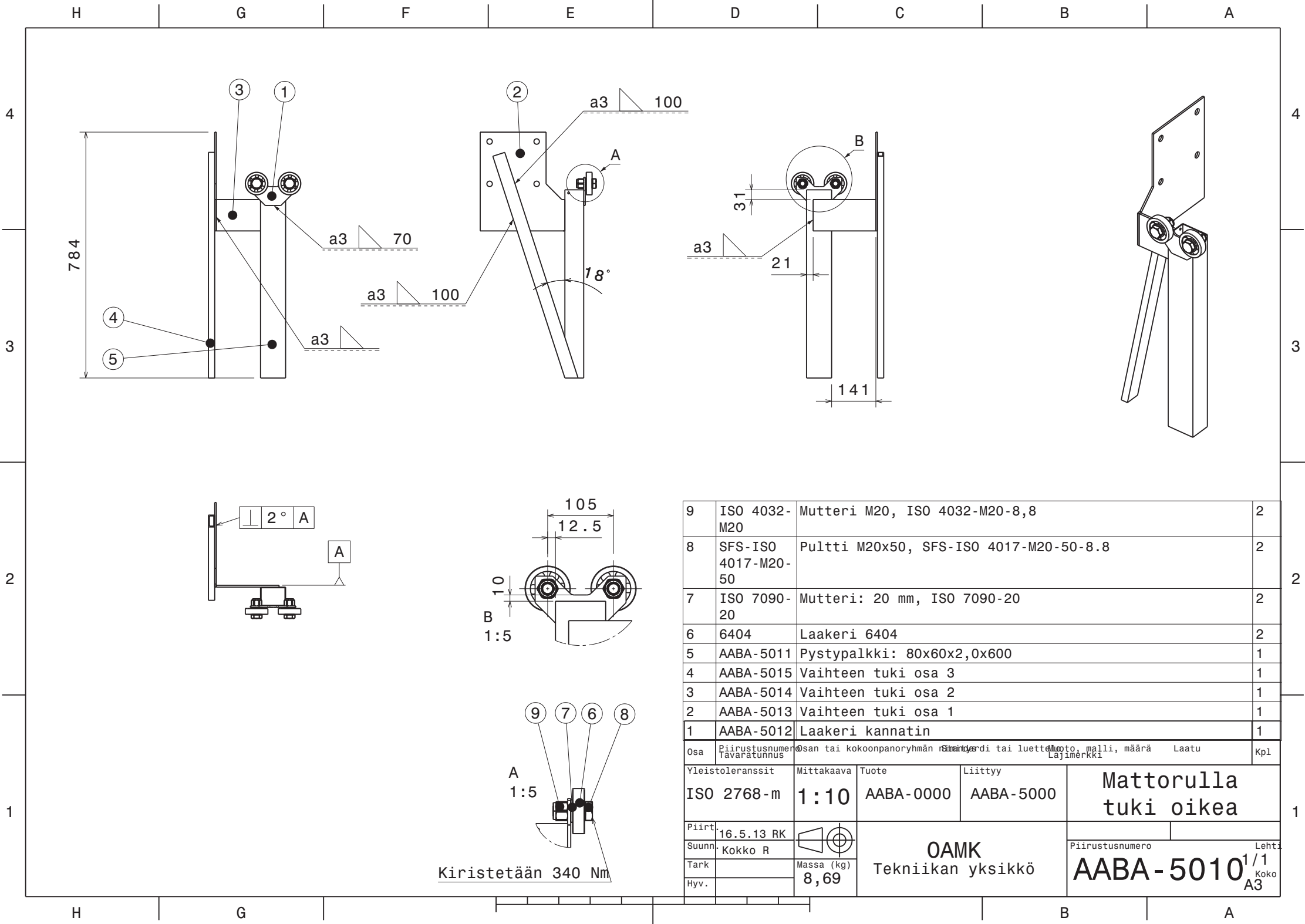



2	AABA-1212	Ketjusuoja, yläosa: 150x600x2, SFS-EM10024, S235JRG2			1
1	AABA-1211	Ketjusuoja, sivulevy: 179x354x2,0, SFS-EN 10025, S235JRG2			1
Osa	Piirustusnumero Tavaratunnus	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, määrä Lajimerkki	Laatu Kpl
Yleistoleranssit		Mittakaava	Tuote	Liittyy	Ketjusuoja
ISO 2768-m		1:5	AABA-0000	AABA-1000	
Piirt.	19.5.13 RK		OAMK Tekniikan yksikkö		Piirustusnumero AABA-2210 ^{1/1} Koko A3
Suunn.	Kokko R				
Tark.					
Hyv.					

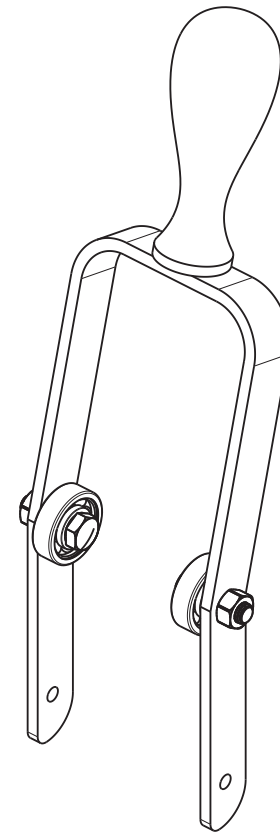
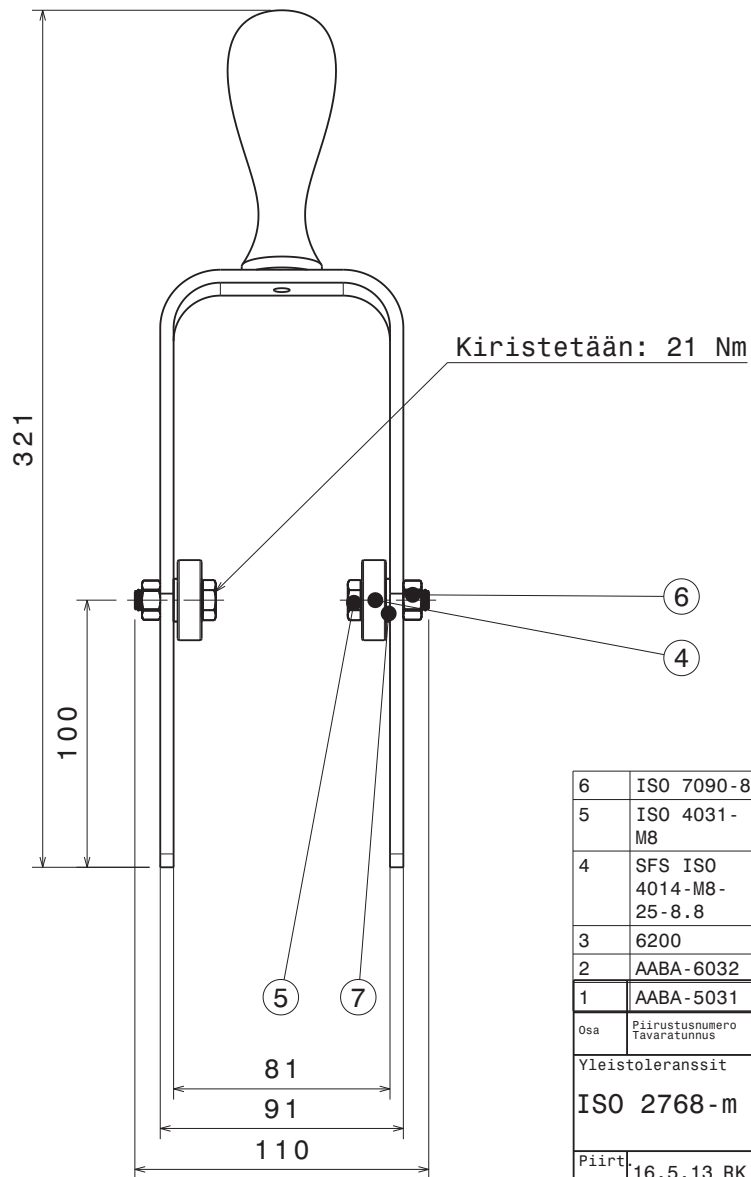
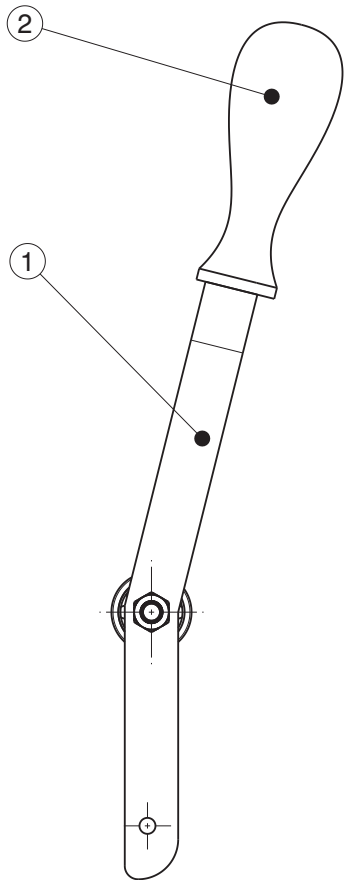



4	SH58-18/40-HRC 45/53	Ketjupyörä: 18/40			1	
3	SFS 2636-A-12x8-40	Kiila: 12x8, SFS 2636-A-12x8-40			1	
2	AABA-4010	Taka-akseli oikea Ø40x500, SFS-EN 10025, S355J0/E295			1	
1	AABA-4030	Renkaiden kiinnityslaippa: Ø180x8, SFS-EN 10025, S344K2G3			1	
Osa	Piirustusnumero Tavaratunnus	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, määrä Lajimerkki	Laatu	Kpl
Yleistoleranssit		Mittakaava	Tuote	Liittyy	Takakannatus oikea	
ISO 2768-m		1 : 1	AABA-0000	AABA-4000		
Piirt.	16.5.13 RK		OAMK Tekniikan yksikkö			Lehti: 1/1 Koko: A3
Suunn.	Kokko R				Piirustusnumero	
Tark.						
Hyv.						
		Massa (kg)				
		7,8				

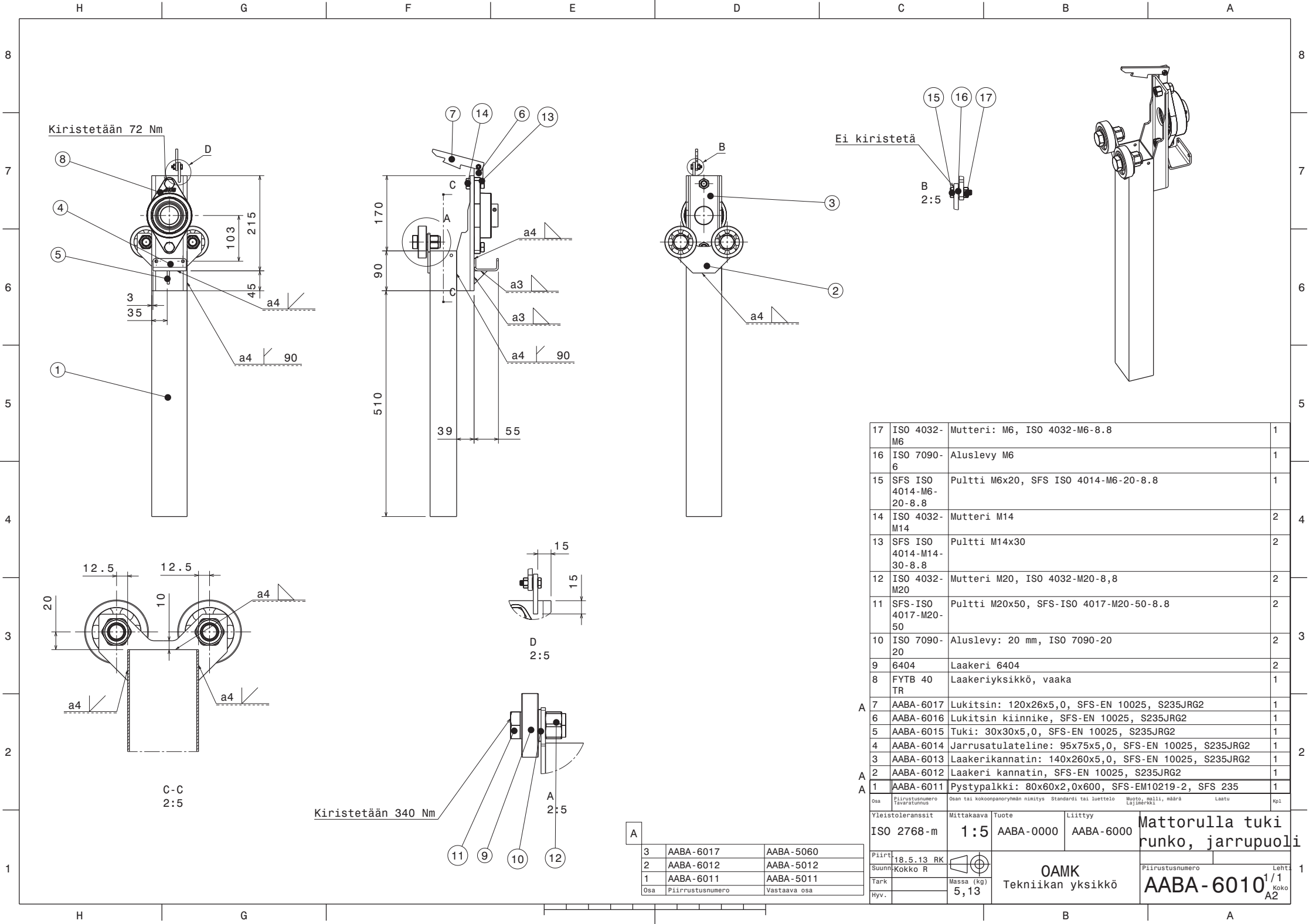




9	ISO 4032-M20	Mutteri M20, ISO 4032-M20-8,8	2			
8	SFS-ISO 4017-M20-50	Pultti M20x50, SFS-ISO 4017-M20-50-8.8	2			
7	ISO 7090-20	Mutteri: 20 mm, ISO 7090-20	2			
6	6404	Laakeri 6404	2			
5	AABA-5011	Pystypalkki: 80x60x2,0x600	1			
4	AABA-5015	Vaihteen tuki osa 3	1			
3	AABA-5014	Vaihteen tuki osa 2	1			
2	AABA-5013	Vaihteen tuki osa 1	1			
1	AABA-5012	Laakeri kannatin	1			
Osa	Piirustusnumero Tavaratunnus	Osan tai kokoonpanoryhmän nimi tai luettelo Suunnitelma, malli, määrä Lajimerkki	Kpl			
Yleistoleranssit		Mittakaava	Tuote	Liittyy	Mattorulla tuki oikea	
ISO 2768-m		1:10	AABA-0000	AABA-5000		
Piirt.	16.5.13 RK		OAMK Tekniikan yksikkö			Piirustusnumero
Suunn.	Kokko R				AABA-5010	1/1 Koko A3
Tark.						
Hyv.						
		Massa (kg) 8,69				

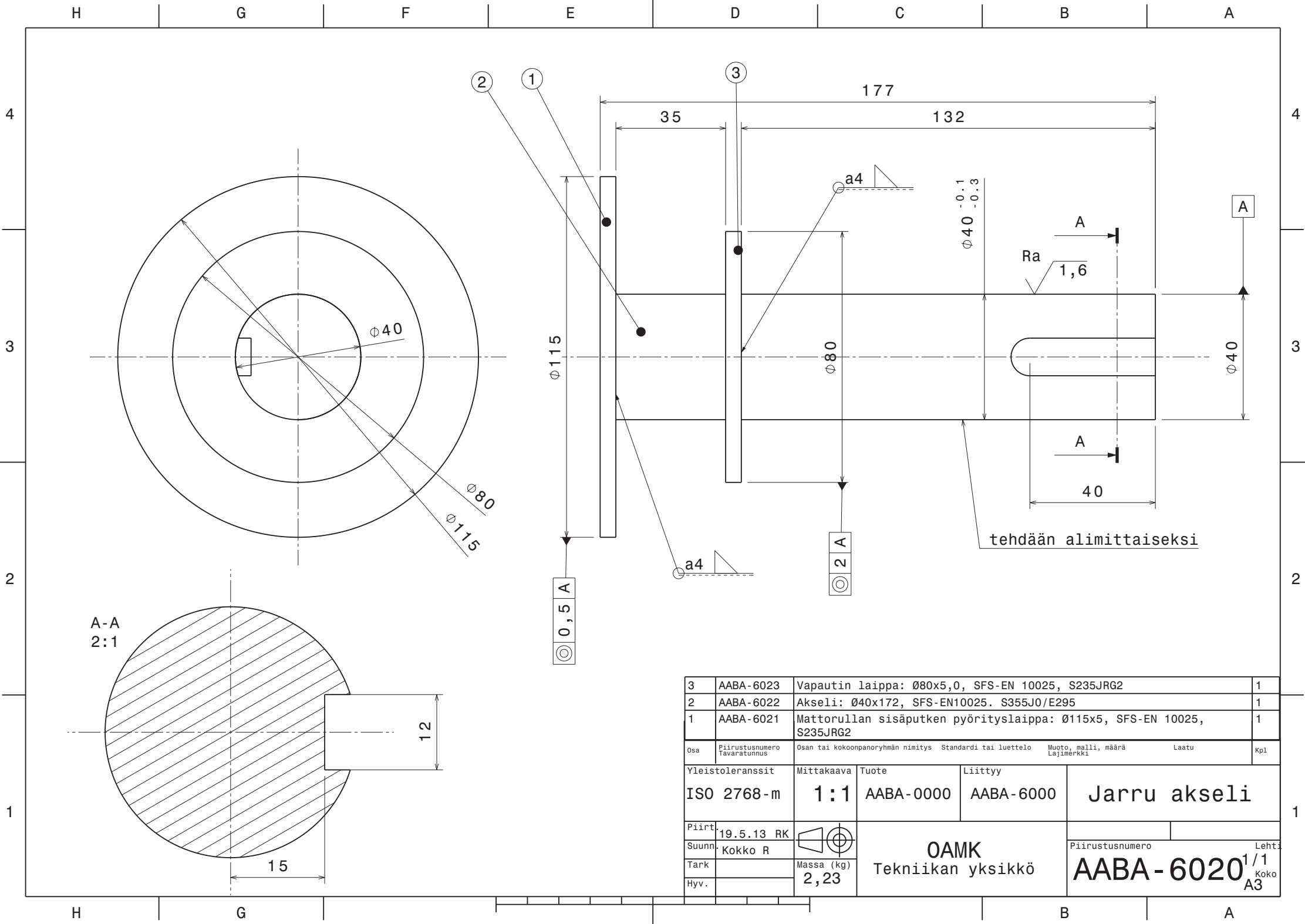


6	ISO 7090-8	Aluslevy M8			2		
5	ISO 4031-M8	Mutteri M8			2		
4	SFS ISO 4014-M8-25-8.8	Pultti M8x25			2		
3	6200	Laakeri 6200			2		
2	AABA-6032	Kahva			1		
1	AABA-5031	Vedon lukitus ja vapautus vipu			1		
Osa	Piirustusnumero Tavaratunnus	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys Standardi tai luettelo			Muoto, malli, määrä Lajimerkki	Laatu	Kpl
Yleistoleranssit		Mittakaava	Tuote	Liittyy	Vedon lukitsin ja vapautin vipu		
ISO 2768-m		1:2	AABA-0000	AABA-5000			
Piirt.	16.5.13 RK		OAMK Tekniikan yksikkö		Piirustusnumero Lehti AABA-5030 ^{1/1} Koko A3		
Suunn.	Kokko R						
Tark.							
Hyv.							
		Massa (kg)					
		0,45					



17	ISO 4032-M6	Mutteri: M6, ISO 4032-M6-8.8	1
16	ISO 7090-6	Aluslevy M6	1
15	SFS ISO 4014-M6-20-8.8	Pultti M6x20, SFS ISO 4014-M6-20-8.8	1
14	ISO 4032-M14	Mutteri M14	2
13	SFS ISO 4014-M14-30-8.8	Pultti M14x30	2
12	ISO 4032-M20	Mutteri M20, ISO 4032-M20-8,8	2
11	SFS-ISO 4017-M20-50	Pultti M20x50, SFS-ISO 4017-M20-50-8.8	2
10	ISO 7090-20	Aluslevy: 20 mm, ISO 7090-20	2
9	6404	Laakeri 6404	2
8	FYTB 40 TR	Laakeriyksikkö, vaaka	1
A 7	AABA-6017	Lukitsin: 120x26x5,0, SFS-EN 10025, S235JRG2	1
6	AABA-6016	Lukitsin kiinnike, SFS-EN 10025, S235JRG2	1
5	AABA-6015	Tuki: 30x30x5,0, SFS-EN 10025, S235JRG2	1
4	AABA-6014	Jarrusatulalaine: 95x75x5,0, SFS-EN 10025, S235JRG2	1
3	AABA-6013	Laakerikannatin: 140x260x5,0, SFS-EN 10025, S235JRG2	1
2	AABA-6012	Laakeri kannatin, SFS-EN 10025, S235JRG2	1
A 1	AABA-6011	Pystypalkki: 80x60x2,0x600, SFS-EM10219-2, SFS 235	1

Osa	Piirustusnumero	Osa tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Nuoto, malli, määrä	Laatu	Kpl
Yleistoleranssit	Mittakaava	Tuote	Liittyy	Mattorulla tuki		
ISO 2768-m	1:5	AABA-0000	AABA-6000	runko, jarrupuoli		
Piirt.	18.5.13 RK	OAMK Tekniikan yksikkö	Piirustusnumero	Lehti		
Suunn.	Kokko R			1/1		
Tark.				AABA-6010		
Hyv.				A2		



3	AABA-6023	Vapautin laippa: Ø80x5,0, SFS-EN 10025, S235JRG2					1
2	AABA-6022	Akseli: Ø40x172, SFS-EN10025. S355J0/E295					1
1	AABA-6021	Mattorullan sisäputken pyörityslaippa: Ø115x5, SFS-EN 10025, S235JRG2					1
Osa	Piirustusnumero Tavaratunnus	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, määrä Lajimerkki	Laatu		Kpl
Yleistoleranssit		Mittakaava	Tuote	Liittyy	Jarru akseli		
ISO 2768-m		1:1	AABA-0000	AABA-6000			
Piirt.	19.5.13 RK		OAMK Tekniikan yksikkö				Piirustusnumero Lehti AABA-6020 ^{1/1} Koko A3
Suunn.	Kokko R						
Tark.							
Hyv.							
		Massa (kg)					
		2,23					

